



TUGAS AKHIR – TM141585

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PARAMETER
PROSES INJEKSI MOLDING TERHADAP SHRINKAGE
MATERIAL BIOKOMPOSIT SERAT SISAL
MENGUNAKAN *RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY (RSM)***

**MUHAMMAD AKBAR AL-AMIN
NRP. 02111645000004**

**DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ing. I MADE LONDEN BATAN, M.Eng.**

**Laboratorium Perancangan dan Pengembangan Produk
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Surabaya 2018



FINAL PROJECT – TM141585

***EXPERIMENTAL STUDY OF INFLUENCE INJECTION
MOULDING ON SHRINKAGE MATERIAL SISAL-GLASS
FIBER BIOCOMPOSITE USING RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY***

***MUHAMMAD AKBAR AL-AMIN
NRP. 02111645000004***

***ADVISOR
Prof. Dr. Ing. I MADE LONDEN BATAN, M.Eng.***

***Laboratorium Design And Product Development
Departemen Mechanical Engineering
Faculty Of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember***

Surabaya 2018

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PARAMETER
PROSES INJEKSI MOLDING TERHADAP
SHRINKAGE MATERIAL BIODKOMPOSIT SERAT
SISAL MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY (RSM)***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD AKBAR AL-AMIN
NRP. 021116 45 000004

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- | | |
|--|---------------|
| 1. <u>Prof. Dr. Ing. I Made Londen B., M.Eng.</u>
NIP. 195811061986011002 | (Pembimbing) |
| 2. <u>Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng., Ph.D.</u>
NIP. 196511031990021001 | (Penguji I) |
| 3. <u>Arif Wahjudi, S.T., M.T., Ph.D.</u>
NIP. 197303222001121001 | (Penguji II) |
| 4. <u>Dinny Harnany, S.T., M.Sc.</u>
NIP. 2100201405001 | (Penguji III) |



**SURABAYA
JULI, 2018**

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PARAMETER
PROSES INJEKSI MOLDING TERHADAP SHRINKAGE
MATERIAL BIOKOMPOSIT SERAT SISAL
MENGUNAKAN *RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY (RSM)***

Nama : Muhammad Akbar Al-amin
NRP : 02111645000004
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ing. I Made Londen B., ME

Abstrak

Shrinkage (penyusutan) merupakan salah satu sifat yang dimiliki material plastik, dimana semakin besar nilai prosentase shrinkage dapat mengakibatkan kualitas produk menjadi tidak baik atau cacat produk. Oleh karena itu, sifat shrinkage tersebut dapat dikontrol oleh parameter-parameter yang berada di mesin injeksi. Parameter yang digunakan untuk meminimalisir nilai *shrinkage* antara lain *melt temperature*, *holding pressure*, dan *injection pressure*. Spesimen yang digunakan berdasarkan standard uji ASTM D955.

Penentuan parameter perlu dilakukan didalam suatu proses produksi untuk mendapatkan kualitas dari produk yang terbaik. Metode *Response Surface* sekumpulan metode-metode matematika dan statistika yang digunakan dalam pemodelan dan analisis, yang bertujuan untuk melihat pengaruh beberapa variabel kuantitatif terhadap suatu variabel respon dan untuk mengoptimalkan variabel respon tersebut. Rancangan *Box-Behnken* digunakan pada proses pengambilan data karena terdapat 3 faktor parameter proses dan hasil rancangan umumnya sangat efisien.

Penelitian studi eksperimen ini dihasilkan parameter proses injeksi yaitu *melt temperature*, *holding pressure*, dan *injection pressure* mempunyai pengaruh yang sangat signifikan terhadap respon shrinkage pada material biokomposit serat sisal dengan

komposisi 80% *Polypropelene*, 10% MAPP dan 10% Serat sisal. Pengaruh parameter proses *melt temperature* terhadap respon shrinkage dapat disebabkan *density* dan *Coefficient of Thermal Expansion*, sedangkan pada parameter proses *holding pressure* dan *injection pressure* dapat disebabkan sifat kompresibilitas material biokomposit serat sisal. Optimasi menghasilkan nilai prosentase sebesar 1.19 % pada *melt temperature* 185 °C, *holding pressure* 35 bar, dan *injection pressure* 60 bar.

Kata kunci: *Shrinkage, Metode Response Surface, Biokomposit, Injection Molding.*

***EXPERIMENTAL STUDY OF INFLUENCE INJECTION
MOULDING ON SHRINKAGE MATERIAL SISAL-GLASS
FIBER BIOCOMPOSITE USING RESPONSE SURFACE
METHDOLOGY (RSM)***

***Name : Muhammad Akbar Al-amin
NRP : 02111645000004
Departemen : Mechanical Engineering FTI-ITS
Supervisor : Prof. Dr. Ing. I Made Londen B., ME***

Abstract

Shrinkage is one of the properties of plastic materials, where the greater the percentage of shrinkage can result a poor quality of product or making defect the product. Therefore, the shrinkage properties can be controlled by the parameters in the injection machine. Parameters used to minimize shrinkage values are melting temperature, holding pressure, and injection pressure. Specimens were used based on the ASTM D955 test standard.

Parameters needs in a production process to get the best product quality. Response Surface Methodology is a group of mathematical and statistical methods used in modeling and analysis, which purpose to see the effect of some quantitative variables on a response variable and to optimize the response variable. Box-Behnken design is used in the data retrieval process because there are 3 factors of process parameters and the design result is generally very efficient.

Research of this experimental study has been resulted, the parameters of the injection process are melting temperature, holding pressure, and injection pressure have significant effect on shrinkage response on sisal fiber biocomposite material with 80% Polypropelene, 10% MAPP and 10% sisal. The effect of melt temperature process parameters on shrinkage response can be due to density and Coefficient of Thermal Expansion, while the holding process pressure and injection pressure parameters can be due to

the compressibility properties of the sisal fiber biocomposite material. Optimization yields a percentage value of 1.19% at melting temperature 185°C, 35 bar holding pressure, and 60 bar injection pressure.

Key Word: Shrinkage, Response Surface Methodology, Biocomposite, Injection Molding.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, serta inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PARAMETER PROSES INJEKSI MOLDING TERHADAP SHRINKAGE MATERIAL BOKOMPOSIT SERAT SISAL MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)*”. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan akademis dalam menempuh pendidikan Program Studi Sarjana S1 Teknik Mesin Program Lintas Jalur, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis berusaha menerapkan ilmu yang didapat selama menjalani perkuliahan di S1 Teknik Mesin. Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ing. I Made Londen Batan, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah begitu sabar dalam memberikan saran, sabar, dengan dedikasi yang begitu besar berupa waktu, tenaga, pikiran serta bimbingannya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dinny Harnany ST, MSc, Bapak Arif Wahjudi, ST, MT, Ph.D, Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc. Eng, Ph.D, yang telah memberikan saran, waktu, materi dan arahan selaku dosen penguji Tugas Akhir.
3. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis.
4. Keluarga penulis, terutama orang tua, pakde, bude, mbah serta adik-adik penulis yang selalu mendoa'kan, memberikan keceriaan dan memberikan dukungan kepada penulis yang tak terbalaskan oleh materi.

5. Orang tercinta bagi penulis yang selalu memberikan dukungan berupa semangat, doa dan cerewetnya bagi penulis hingga penulis tetap semangat mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. Segenap staf dan karyawan Teknik Mesin yang telah banyak memberikan bantuan , informasi, dukungan dan doa, Bu Sri, Pak Kirun, Mbah No, dll.
7. Teman-teman Laboratorium Perancangan dan Pengembangan Produk Mas Rado, Nubli, Tedy, Rambo, Tubagus, Denny, Hafidz, Mas'ud, Rosa, Uzik, Awan yang ikhlas dalam memberikan keceriaan dan saling memberikan motivasi yang besar untuk bangkit dan maju.
8. Teman seperjuangan untuk menempuh tugas Akhir ini baskara yang memberikan motivasi untuk gerak cepat dan pantang menyerah.
9. Teman-teman seperjuangan dalam kabinet komting LJ ITS, Hakim, Haryo, Dicky, Iqbal, Fisa, Andika, Adit, Astri dll yang terus memberikan semangat dan hiburan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini
10. Teman-teman The Last LJ Mesin 2016 khususnya Breet Ladrian, Ricko, Azmi, Nuril, Raka dan saudara-saudara semua teman LJ yang terus memberikan dukungan tanpa kenal lelah.
11. Teman-teman D3 Teknik Mesin Polinema khususnya grup Lamda yang memberikan support baik materi maupun doa dan teman-teman seperjuangan Lintas Jalur Teknik Mesin Polinema Ardi, Gita, dan Ayu.
12. Mba Eka kekasih dari Mas Nubli yang meluangkan waktunya bersama mas Nubli untuk memberikan Ilmu statistiknya dan memberikan arahan bagi penulis.
13. Teman-teman Dusun Ngrambut yang memberikan waktu untuk memberikan canda dan tawa agar penulis tetap semangat menjalani proses Tugas Akhir Ini.

14. Kepada Kyai dan guru-guru penulis khususnya Pondok Pesantren Darul Ulum, tanpa doa, ilmu dan barakah beliau penulis tidak bearti apa-apa.
15. Serta semua keluarga dan pihak yang telah membantu dan tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini masih belum sempurna, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis berdoa agar segala bantuan yang diberikan mendapat balasan dan rahmat dari Allah SWT. Dan semoga hasil dari laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagaimana yang diharapkan. Amin.

Surabaya, 4 Juli 2018

Penulis

(Halaman Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR ISI

Abstrak	iii
<i>Abstract</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penilitian	4
BAB II	5
DASAR TEORI.....	5
2.1. Proses Injeksi Molding.....	5
2.2. Parameter Proses Injeksi	7
2.3. <i>Shrinkage</i>	8
2.4. Cacat Produk	11
2.4.1. Flash	11
2.4.2. <i>Short Shot</i>	12
2.5. Material Biokomposit.....	12
2.6. Spesimen ASTM D955	14
2.7. Desain Eksperimen.....	16
2.7.1. Langkah-Langkah Desain Eksperimen.....	16
2.7.2. <i>Response Surface Methods</i>	18
2.7.3. Analisa Statistik Hasil Percobaan.....	22
BAB III.....	25
METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1. Diagram Alir Penelitian	25
3.2. Langkah-langkah Desain Eksperimen	26
3.2.1. Studi Literatur dan Lapangan	27
3.2.2. Perumusan Masalah.....	27

3.2.3.	Menyiapkan Material.....	27
3.2.4.	Variable Desain Eksperimen	28
3.2.5.	Proses Pencetakan.....	29
3.2.6.	Pemeriksaan Cacat.....	30
3.2.7.	Pengambilan dan Pengolahan Data	31
3.2.8.	Kesimpulan dan Saran	32
BAB IV		33
PENGAMBILAN DAN PENGUKURAN SPESIMEN.....		33
4.1	Langkah-langkah eksperimen.....	33
4.2.	Pengukuran Spesimen	36
4.2.1	Material BSS Searah Aliran	37
4.2.2	Material BSS Tegak Lurus Aliran	38
4.3	Perbandingan Nilai Shrinkage Material BSS	39
BAB V		43
ANALISA STATISTIK		43
RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)		43
5.1	Analisa RSM Material Biokomposit Serat Sisal (BSS) Searah Aliran 44	
5.1.1	Pendugaan Orde Kedua Shrinkage	45
5.2	Grafik Plot <i>surface model</i> Orde Kedua Shrinkage	52
5.3	Penentuan Optimasi Parameter Proses Dan Pembahasan.....	56
5.3.1	Analisa Parameter Proses <i>Melting Temperature</i> Terhadap Shrinkage.....	57
5.3.2	Analisa Parameter Proses <i>Holding Pressure</i> Terhadap Shrinkage.....	58
5.3.3	Analisa Parameter Proses <i>Injection Pressure</i> Terhadap Shrinkage.....	58
5.4	Percobaan Konfirmasi	59
5.5	Perbandingan Hasil Optimasi Dengan Kondisi Awal	60

BAB VI	63
KESIMPULAN DAN SARAN	63
6.1 Kesimpulan.....	63
6.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA.....	65
RIWAYAT HIDUP PENULIS	67
LAMPIRAN	69

(Halaman Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mesin Cetakan Injeksi (Jamaludin, 2007)	5
Gambar 2. 2 Siklus cetak mesin injeksi molding (Zhou, 2013)	7
Gambar 2. 3 Penurunan Tekanan selama proses injeksi ke dalam cavity (Shoemaker, 2006).....	8
Gambar 2. 4 Tingkah laku cetakan dan shrinkage produk (Kazmer, 2007).....	9
Gambar 2. 5 efek parameter proses terhadap shrinkage (Shoemaker, 2006)	10
Gambar 2. 6 Contoh Defect Flash pada Produk	11
Gambar 2. 7 [Kiri] produk defect (short shot), [Kanan] produk normal.....	12
Gambar 2. 8 Tumbuhan Sisal	13
Gambar 2. 9 Spesimen uji Shrinkage Tipe D2 (ASTM International, 2001)	15
Gambar 2. 10 a. Ilustrasi plot Permukaan Respon b. Ilustrasi plot kontur Response Surface	19
Gambar 2. 11 Rancangan Box-Benhken untuk tiga faktor (k=3)	21
Gambar 3. 1 Diagram Alir	26
Gambar 3. 2 Proses Persiapan Material	28
Gambar 3. 3 Mesin Injeksi Merk Haitian Tipe MA900II/260E	29
Gambar 3. 4 Lokasi pengukuran Panjang Dan Lebar Spesimen	31
Gambar 4. 1 Pengukuran Komposisi Material	34
Gambar 4. 2 Pellet Biokomposit Serat Sisal	34
Gambar 4. 3 Perbedaan material produk proses injeksi [kiri] PP [kanan] BSS	35
Gambar 4. 4 Spesimen uji shrinkage Biokomposit Serat Sisal (BSS)	35
Gambar 4. 5 Contoh pengukuran pada spesimen uji shrinkage ASTM D955 [kiri] BSS searah Aliran dan [kanan] BSS tegak lurus aliran	36
Gambar 4. 6 Perbandingan Prosentase Shrinkage Ditinjau Datangnya Aliran Plastik	39
Gambar 4. 7 Orientasi Aliran Plastik Anisotropic (Kazmer, 2007)	40

Gambar 4. 8 Volumetric dan Anistropic Material	40
Gambar 4. 9 Prosentase Shrinkage Tiap Titik	41
Gambar 5. 1 Grafik residual vs fitted value shrinkage BSS searah aliran	49
Gambar 5. 2 Grafik normal probability shrinkage	50
Gambar 5. 3 Grafik AutoCorrelation Function for Shrinkage BSS searah aliran	51
Gambar 5. 4 [kiri] Grafik surface plot shrinkage vs holding pressure, melt temperature material BSS searah aliran, [kanan] Surface plot pada potongan melt temperature 205 °C	53
Gambar 5. 5 [kiri] Grafik surface plot shrinkage vs injection pressure, melt temperature material BSS searah aliran, [kanan] Surface plot pada potongan melt temperature 205 °C	54
Gambar 5. 6 [kiri] Grafik surface plot shrinkage vs injection pressure, holding pressure material BSS searah aliran [kanan] Surface plot pada potongan holding pressure 35 bar.	55
Gambar 5. 7 Grafik kombinasi parameter proses yang menghasilkan respon optimal material Biokomposit Serat Sisal Searah Aliran	56
Gambar 5. 8 pengukuran uji konfirmasi material biokomposit serat sisal searah aliran	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Faktor Penyusutan Material (Georg Menges, 1999) ..	10
Tabel 2. 2 rancangan percobaan box-behnken dengan k=3.....	21
Tabel 2. 3 Formulasi ANOVA	22
Tabel 3. 1 Rancangan Percobaan Box-Behnken	30
Tabel 4. 1 Prosentase Shrinkage Material BSS Searah Aliran	37
Tabel 4. 2 Prosentase Shrinkage Material BSS Tegak Lurus Aliran.....	38
Tabel 5. 1 Hasil pengujian paired sample-T tegak lurus dan searah aliran.....	44
Tabel 5. 2 Orde kedua shrinkage BSS searah aliran	45
Tabel 5. 3 Estimasi koefisien persamaan model	46
Tabel 5. 4 Hasil analisa ANOVA menghilangkan paramater proses yang tidak signifikan	47
Tabel 5. 5 Hasil percobaan konfirmasi untuk nilai optimum	60
Tabel 5. 6 Perbandingan hasil optimasi dengan kondisi awal.....	61

(Halaman Sengaja Dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proses injeksi molding adalah teknologi pengolahan produk plastik yang paling banyak digunakan. Injeksi molding banyak digunakan untuk proses material termoplastik yang kompleks dengan produksi yang tinggi dan waktu singkat. Perkembangan industri plastik saat ini dengan meningkatkan fungsi material dan meminimalisir penggunaan biji plastik. Biokomposit merupakan salah satu alternatif penggunaan material, selain menggunakan serat alam yang bermanfaat bagi lingkungan juga mengurangi biaya bahan baku dari plastik. Penggunaan pada industri manufaktur plastik tergolong masih relatif baru selain karena kurangnya penelitian di bidang tersebut. Permasalahan tersebut memberikan kesempatan dan penyempurnaan dalam mengembangkan material biokomposit khususnya pada proses Injeksi Molding. Proses injeksi molding dalam pembuatan material biokomposit plastik banyak komponen dengan desain yang rumit dan membutuhkan tingkat akurasi yang tinggi. Salah satu penyebab menurunnya tingkat kepresisian suatu produk adalah *shrinkage*. *Shrinkage* merupakan sifat penyusutan produk yang dituliskan pada satuan persen produk dimana nilai penyusutan setiap material plastik berbeda-beda.

Pada tahun 2017 Deni Gumelar dalam tugas akhirnya merancang cetakan injeksi molding spesimen *shrinkage* yang disesuaikan dengan standard ASTM D955 dan dapat digunakan pada mesin injeksi HAITIAN MA 900/260e. Kemudian Tubagus Bima (2017) melakukan studi dan analisis penyusutan (*shrinkage*) material biokomposit dengan campuran serat sisal dan sekam padi, pada studi dan analisis tersebut material biokomposit dicetak menjadi spesimen *shrinkage* yang sesuai dengan standard ASTM D955. Material yang digunakan dalam simulasi dan proses injeksi molding adalah biokomposit campuran 10% sekam padi, 5% MAPP, 85% PP dan biokomposit campuran 10% serat sisal, 5%

MAPP, 85% PP. Hasil penelitian tersebut menunjukkan nilai *shrinkage* yang bervariasi, hal ini disebabkan terdapat permasalahan pada cetakan.

Setelah cetakan spesimen diperbaiki penting untuk dilakukan penentuan dari parameter proses produksi. Heidari (2018) melakukan penelitian *Optimization simulated injection molding process for ultrahigh molecular weight polyethylene nanocomposite hip liner using response surface methodology and simulation of mechanical behavior*. Penelitian tersebut menghasilkan parameter optimal menggunakan metode statistik *respon surface* yaitu *mold temperature* sebesar 47.53 °C, *melt temperature* 235.96 °C, *injection time* 0.5 s, *packing time* 6 s, *packing pressure* 95%, *coolant temperature* 12,5 °C. Kazmer (2007) mendefinisikan parameter yang berpengaruh paling signifikan terhadap *shrinkage* antara lain *pressure* dan *temperature*. Parameter *holding time*, *injection time* (waktu) mempunyai dampak yang tidak signifikan terhadap *shrinkage*. Penelitian ini akan dilakukan menggunakan mesin injeksi HAITIAN MA 900/260e, terdapat beberapa parameter yang dapat digunakan diantaranya *Melt Temperature*, *Holding Pressure*, dan *Injection Pressure*. Parameter *mold temperature* pada mesin injeksi HAITIAN MA 900/260e tidak digunakan karena tidak adanya sensor yang mendeteksi *temperature* pada cetakan. Hal tersebut dapat mempengaruhi variabel dari eksperimen yang akan dilakukan.

Penentuan parameter proses menggunakan metode *Response Surface* yang merupakan salah satu konsep pendekatan statistik dengan menggunakan desain eksperimental sederhana dan kuat. Pada proses injeksi molding, beberapa penelitian sebelumnya mengadopsi metode tersebut untuk menentukan hasil yang baik dalam menentukan penentuan parameter yang mempengaruhi *shrinkage* material. Penentuan dari parameter pada proses injeksi molding mesin HAITIAN MA 900/260e diharapkan dapat berguna bagi mahasiswa yang akan mengambil tugas akhir dengan tema

mold design khususnya bagi Laboratorium Perancangan dan Pengembangan Produk.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas, dibuat suatu perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *melt temperature*, *Holding Pressure*, *Injection Pressure*, terhadap *shrinkage* yang terjadi pada material biokomposit serat sisal?
2. Bagaimana parameter proses injeksi yang optimal untuk meminimalkan nilai *shrinkage* pada cetakan spesimen ASTM D955 dengan menggunakan *Response Surface Methodology*?

1.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian tugas akhir ini penulis menggunakan beberapa batasan masalah, diantaranya adalah :

1. Rancangan *insert mold* yang digunakan yang sudah dibuat sesuai ASTM D955.
2. Temperatur ruang saat pengukuran dimensi dianggap berada pada temperatur kamar 25°C.
3. Material yang digunakan dalam penelitian adalah Biokomposit campuran 10% serat sisal, 10% MAPP, dan 80% PP.
4. Mesin yang digunakan ialah mesin Injeksi Molding HAITIAN MA 900/260e.
5. Metode penentuan menggunakan *Response Surface Methods (RSM)*.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian dalam tugas akhir ini antara lain :

1. Mengetahui pengaruh *melt temperature*, *Holding Pressure*, *Injection Pressure*, terhadap *shrinkage* yang terjadi pada material biokomposit serat sisal.

2. Mengetahui parameter proses injeksi yang optimal untuk meminimalkan nilai *shrinkage* pada cetakan spesimen ASTM D955 dengan menggunakan *Response Surface Methodology (RSM)*.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian dalam tugas akhir ini sebagai berikut:

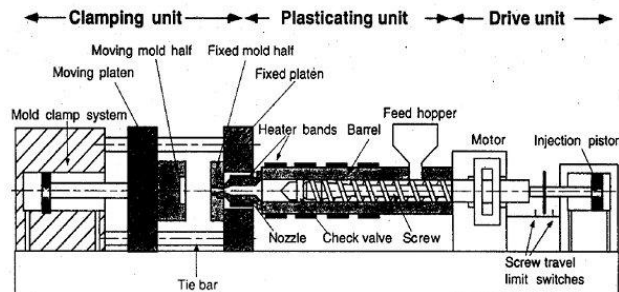
1. Menambah ilmu pengetahuan dalam bidang manufaktur khususnya dalam menentukan parameter *shrinkage* pada mesin injeksi molding.
2. Menambah ilmu pengetahuan dalam bidang statistik khususnya desain eksperimen.
3. Sebagai bahan penelitian selanjutnya yang sejenis dalam mengembangkan parameter pada mesin injeksi molding

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Proses Injeksi Molding

Injeksi molding adalah salah satu metode yang digunakan untuk menghasilkan produk dari material plastik dimana material yang meleleh karena pemanasan diinjeksikan ke dalam cetakan dan didinginkan hingga mengeras. Untuk menghasilkan cetakan secara tepat, tentunya banyak faktor yang harus dipertimbangkan sehingga produk memenuhi standar kualitas yang diinginkan secara optimal baik dari kepresisian dimensi maupun efisiensi proses. Pada dasarnya untuk merencanakan injeksi molding yang optimal banyak melibatkan unsur proses diantaranya, proses desain, proses pembuatan, maupun proses pencetakan yang melibatkan parameter pada mesin injeksi molding seperti pada gambar 2.1 (Budiarto, 2001).



Gambar 2. 1 Mesin Cetakan Injeksi (Jamaludin, 2007)

Terdapat 3 komponen utama pada mesin injeksi molding, diantaranya (Jamaludin, 2007):

1. Clamping unit

Merupakan tempat untuk menyatukan molding. *Clamping system* sangat kompleks dan didalamnya terdapat cetakan untuk membentuk produk, *dwelling* untuk memastikan mold terisi penuh oleh resin, injeksi untuk memasukan resin melalui *sprue*, *ejection* untuk mengeluarkan hasil cetakan plastik dari molding.

2. *Plastikizing Unit*

Merupakan bagian untuk memasukan plastik (*resin*) dan pemanasan. Bagian dari *plastikizing* unit: *hopper* (untuk memasukan resin); *Screw* (untuk mencampurkan material supaya merata); *Barrel*; *Heater* dan *Nozzle*.

3. *Drive Unit*

Drive unit digunakan untuk melakukan kontrol kerja dari injeksi molding, terdiri dari motor untuk menggerakkan screw; Injeksi Piston menggunakan *Hydraulic system* (sistem pompa) untuk mengalirkan fluida dan menginjeksi resin cair ke *mold*.

Selain itu menurut Huamin Zhou (2013) mesin cetak injeksi mempunyai fungsi penting tertentu:

1. *Plastikizing*

Memanaskan dan melelehkan plastik di dalam barel

2. *Injeksi*

Menginjeksi dari barel pada tekanan tertentu dan volume terkontrol kemudian ditembakkan ke dalam cetakan tertutup melalui *sprue*, *runner*, dan *gate*.

3. *After filling / Holding*

Menjaga material yang diinjeksi di bawah tekanan untuk waktu tertentu dan mengkompensasi *shrinkage* yang terjadi selama pendinginan berlangsung, mencegah aliran balik lelehan material dan untuk mengimbangi penurunan volume lelehan selama pemadatan. Tekanan holding biasanya sampai *gate* telah membeku.

4. *Cooling/heating*

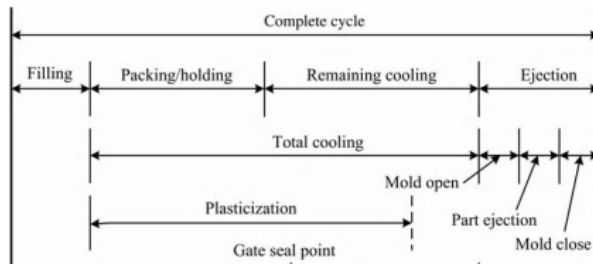
Mendinginkan cetakan thermoplastik atau memanaskan cetakan thermoset pada cetakan tersebut sampai cukup kaku untuk dilakukan *ejection*.

5. *Molded-part release*

Membuka cetakan, mengeluarkan produk, dan menutup cetakan sehingga siap untuk memulai siklus berikutnya.

2.2. Parameter Proses Injeksi

Setting parameter proses untuk setiap produk berbeda beda menyesuaikan dengan geometri produk serta spesifikasi material plastiknya. Parameter proses tersebut berada didalam siklus cetak mesin injeksi molding gambar 2.2 (Zhou, 2013). Setting yang tidak sesuai dapat menimbulkan cacat produk yang mempengaruhi kualitas hasil injeksi. Pada desain eksperimen parameter proses harus dijaga kestabilannya karena dapat mempengaruhi setiap produk hasil proses injeksi.

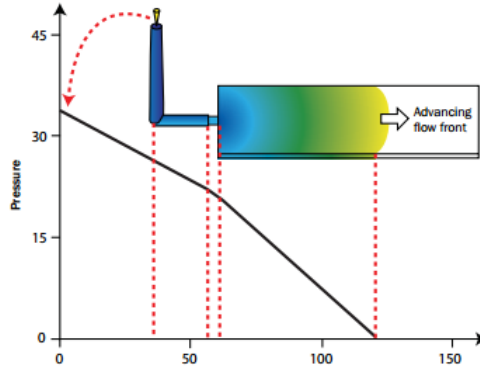


Gambar 2. 2 Siklus Cetak Mesin Injeksi Molding (Zhou, 2013)

Pada proses injeksi molding terdapat beberapa parameter proses yang mempengaruhi *shrinkage* sebagai berikut:

- Temperatur leleh/*Melt Temperature***
Temperatur leleh material yang digunakan pada saat injeksi. Semakin tinggi temperature leleh dapat memudahkan material untuk mengisi rongga cetak. Namun hal ini dapat menghasilkan warna gelap pertanda material terbakar.
- Tekanan Holding/*Holding Pressure***
Tekanan yang dibutuhkan untuk menjaga geometri produk setelah proses injeksi. Tekanan ini dimaksudkan agar plastik didalam cetakan tidak mengalir keluar menuju runner.
- Tekanan Injeksi/*Injection Pressure***
Tekanan yang digunakan untuk menginjeksikan material plastik ke dalam rongga cetak. Tekanan injeksi harus cukup besar untuk menginjeksikan plastik ke dalam cetakan,

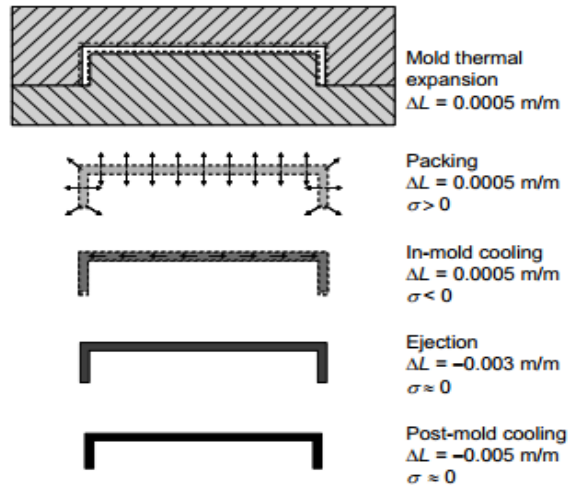
umumnya tekanan injeksi berkisar diantara 70 – 112 Mpa. Semakin tinggi tekanan injeksi dapat menurunkan pengaruh penyusutan pada material. Jika terdapat sensor selama aliran lelehan plastik diinjeksikan ke dalam cavity, distribusi tekanan pada cairan polimer dapat dilihat seperti pada gambar 2.3 (Shoemaker, 2006).



Gambar 2. 3 Penurunan Tekanan Selama Proses Injeksi ke Dalam Cavity (Shoemaker, 2006)

2.3. *Shrinkage*

Shrinkage dari cetakan plastik terutama disebabkan oleh kontraksi termal yang dialami plastik, kompresibilitas plastik pada tekanan *holding*, dan pengaruh kecil oleh ekspansi termal pada logam cetakan. Urutan efek akibat *shrinkage* yang menentukan bagian akhir dimensi dapat ditunjukkan pada Gambar 2.4. Dimensi pada rongga cetakan dapat berubah sedikit dari dimensi mesin karena cetakan tersebut berada pada suhu pendingin diatas suhu kamar. Ekspansi termal rongga cetakan ditunjukkan oleh garis putus-putus (Kazmer, 2007).



Gambar 2. 4 Tingkah Laku Cetakan Dan Shrinkage Produk
(Kazmer, 2007)

Tubagus (2017) melakukan penelitian nilai *shrinkage* pada spesimen ASTM D955 – 00 dengan menggunakan material biokomposit campuran PP dan sekam padi berdasarkan arah datangnya aliran plastik dari searah dan tegak lurus berturut – turut sebesar 0.970% dan 1.113%. Nilai *shrinkage* biokomposit campuran PP dan serat sisal berdasarkan arah datangnya aliran plastik dari searah dan tegak lurus berturut – turut sebesar 0.511% dan 0.742%. Nilai *shrinkage* PP murni berdasarkan arah datangnya aliran plastik dari searah dan tegak lurus berturut – turut sebesar 0.815% dan 0.859%.

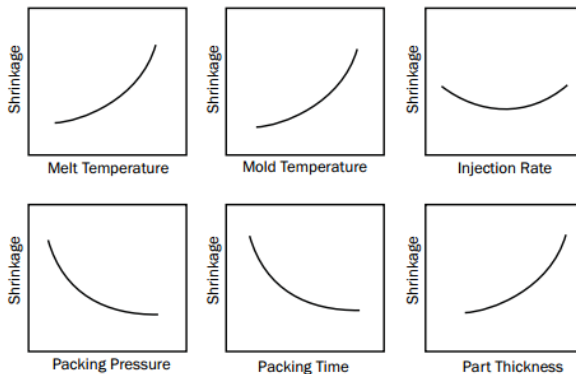
Sebagian luas data material plastik tidak memprediksi penyusutan secara akurat, hal ini dipengaruhi oleh parameter proses dan konfigurasi dari cetakan. Namun, proses dan bagian dari parameter dapat dioptimalkan untuk mengurangi penyusutan dan sifat distorsi material. Beberapa proses yang dapat ditentukan antara lain temperatur dan tekanan, beberapa parameter proses juga tidak dapat ditentukan seperti sifat kristalisasi material. Faktor

penyusutan beberapa material ditunjukkan pada tabel 2.1 (Georg Menges, 1999).

Tabel 2. 1 Faktor Penyusutan Material (Georg Menges, 1999)

Material	Shrinkage %	Material	Shrinkage %
Nylon 6	1–1.5	Polycarbonate	0.8
Nylon 6-GR	0.5	Polyoxymethylene (Acetal)	2
Nylon 6/6	1–2	Polyvinyl chloride, rigid	0.5–0.7
Nylon 6/6-GR	0.5	Polyvinyl chloride, soft	1–3
Low-density polyethylene	1.5–3	Acrylonitrile-butadiene-styrene	0.4–0.6
High-density polyethylene	2–3	Polypropylene	1.2–2
Polystyrene	0.5–0.7	Cellulose acetate	0.5
Styrene-acrylonitrile	0.4–0.6	Cellulose acetate butyrate	0.5
Polymethyl methacrylate (Acrylic)	0.3–0.6	Cellulose propionate	0.5

Shrinkage yang berlebihan, di luar nilai yang diijinkan dapat disebabkan oleh beberapa faktor-faktor parameter injeksi. Faktor tersebut diantaranya *low injection pressure*, *short pack-hold time or cooling time*, *high melt temperature*, *high mold temperature* dan *low holding pressure*. Berdasarkan efek shrinkage terhadap parameter proses injeksi molding dapat ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Efek Parameter Proses Terhadap Shrinkage (Shoemaker, 2006)

2.4. Cacat Produk

2.4.1. Flash

Flash adalah cacat pencetakan yang terjadi bila beberapa plastik cair keluar dari rongga cetakan. Tipikal cacat untuk keluar dari cetakan adalah melalui jalur perpisahan (antara pertemuan dua plat) atau lokasi pin ejektor. Kemudian ekstrusi ini mendingin dan tetap menempel pada produk jadi seperti ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Contoh Defect Flash Pada Produk

Hal ini disebabkan Flash dapat terjadi bila cetakan tidak dijepit bersama dengan kekuatan yang cukup (kekuatan yang cukup kuat untuk menahan kekuatan *injection* yang dihasilkan oleh plastik cair yang mengalir melalui cetakan), yang memungkinkan plastik meresap. Penggunaan cetakan yang telah melampaui umurnya akan aus dan berkontribusi pada kemungkinan flash. Selain itu, tekanan injeksi yang berlebihan dapat memaksa plastik keluar melalui jalur yang kurang resistance.

Pencegahan cacat produk tersebut yang dapat dilakukan dengan meningkatkan *clamping force* untuk memastikan bagian cetakan tetap tertutup selama proses *injection*, memastikan cetakannya dipelihara dan dibersihkan dengan benar (atau diganti saat mencapai masa pakainya yang berguna), dan Menjaga parameter kondisi cetakan yang optimal seperti kecepatan injeksi, tekanan injeksi, suhu cetakan, dan venting udara yang tepat

2.4.2. *Short Shot*

Short Shot adalah suatu kondisi dimana, plastik leleh yang akan diinjeksikan kedalam cavity tidak mencapai kapasitas yang ideal atau sesuai settingan mesin. Sehingga plastik yang diinjeksikan kedalam cavity mengeras terlebih dahulu sebelum memenuhi cavity.



Gambar 2. 7 [Kiri] Produk Defect (Short Shot), [Kanan] Produk Normal

Penyebab Short Shot pada gambar 2.7 dapat dikarenakan karakteristik viskositas dan fluiditas daripada plastik, kondisi cetakan, parameter proses dari mesin tersebut. Pencegahan dapat dilakukan meningkatkan antara lain: kecepatan injeksi material, suhu material sesuai dengan batasannya, dan mengganti fluiditas material dengan yang lebih baik.

2.5. **Material Biokomposit**

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material sehingga dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Sisal (*Agave Sisallana Perrine*) merupakan tanaman perdu dengan daun berduri berbentuk pedang menjulang sepanjang 1 - 2m gambar 2.8. Tanaman sisal sebagian besar ditanam di lereng-lereng bukit berkapur dan beriklim kering. Di Indonesia, tanaman sisal dikembangkan di

Malang Selatan, Jember dan Blitar Selatan. Di Indonesia serat sisal digunakan sebagai bahan kerajinan tali talian, tas, karpet maupun kemasan buah. Namun serat sisal masih mempunyai banyak potensial yang belum dikembangkan seperti sebagai material campuran komposit yang murah, ringan dan kuat.



Gambar 2. 8 Tumbuhan Sisal

Polypropylene (PP) merupakan polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas propilena. Propilena mempunyai *specific gravity* rendah dibandingkan dengan jenis plastik lain. *Polypropylene* mempunyai titik leleh yang cukup tinggi (190 – 200 °C), sedangkan titik kristalisasinya antara (130 – 135 °C). *Polypropylene* mempunyai ketahanan terhadap bahan kimia (*hemical Resistance*) yang tinggi, tetapi ketahanan pukul (*impact strength*) nya rendah. *Polypropylene* biasanya digunakan dalam pembuatan botol minuman, kotak makanan, dan wadah penyimpanan makanan lainnya yang dapat dipakai berulang-ulang. Bahan ini merupakan jenis plastik terbaik yang bisa digunakan sebagai kemasan makanan dan minuman, karena mampu mencegah terjadinya reaksi kimia dan tahan terhadap panas.

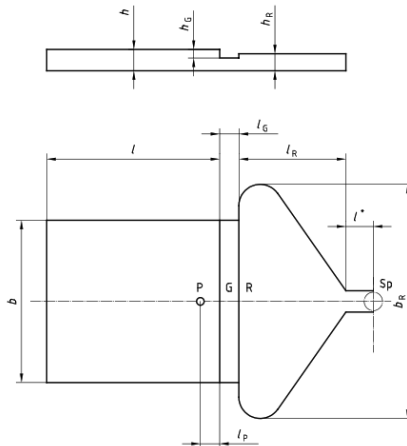
Mutafawiqin, dkk (2016) melakukan eksperimen pembuatan komposit menggunakan serat alam (sekam padi) yang dicampur dengan *Polypropylene* (PP) dan ditambahkan dengan *Maleic*

anhydride polypropylene (MAPP). Bahan – bahan tersebut kemudian dilebur dan dibentuk menjadi pelet. Percobaan dilakukan dengan memvariasikan komposisi dari serat alam secara berturut – turut adalah biokomposit A (5%:90%:5%), biokomposit B (10%:85%:5%), biokomposit C (15%:80%:5%) dan biokomposit D (20%:75%:5%). Pelet tersebut nantinya akan diuji dengan menggunakan mesin Differential Scanning Calorimetry (DSC) untuk mengetahui temperatur leleh. Hasil pengujiannya didapatkan bahwa biokomposit B sebesar 164.2° dan void sebesar 14,279%.

Arif, dkk (2017) melakukan eksperimen serupa dengan menggunakan serat alam yang lain (serat sisal) yang dicampur dengan *Polypropylene* (PP) dan ditambahkan dengan *Maleic anhydride polypropylene* (MAPP). Percobaan dilakukan dengan menggunakan variasi komposisi berturut – turut adalah biokomposit A (5%:90%:5%), biokomposit B (10%:85%:5%), biokomposit C (15%:80%:5%) dan biokomposit D (20%:75%:5%). Hasil percobaan yang sama dengan Mutafawiqqin didapatkan bahwa biokomposit B memiliki temperature leleh sebesar 164.53° dan void diantara 6.97% hingga 11.75%.

2.6. Spesimen ASTM D955

ASTM (American Standard Testing and Material) adalah organisasi international yang mengembangkan standarisasi teknik untuk material, produk, sistem dan jasa. ASTM D955 - 00 menjelaskan tentang standar metode pengujian untuk menghitung nilai *shrinkage* material *thermoplastik*.



Gambar 2. 9 Spesimen Uji Shrinkage Tipe D2 (*ASTM International, 2001*)

Nilai *shrinkage* material dicari dengan melakukan injeksi pada spesimen uji (tipe D2) sesuai pada gambar 2.9. Spesimen tipe D2 berbentuk persegi memiliki ukuran 60 x 60 mm dengan ketebalan 2 mm. Bentuk segitiga (huruf R) sebagai jalur yang membantu dalam mengatur arah aliran yang terjadi sehingga saat mencapai bagian yang berbentuk persegi arah aliran menjadi seragam. Hal tersebut menjadi salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam membuat cetakan spesimen *shrinkage* yakni memperhatikan arah aliran plastik.

Pengukuran spesimen yang telah diinjeksi menggunakan mikrometer dan jangka sorong. Alat ukur yang digunakan setidaknya memiliki ketelitian 0.025 mm (0.001 inch) sebab berdasarkan hasil pengukuran didapatkan nilai *shrinkage* terletak antara 0.006 – 0.02 inch (Joseph Greene, 2000). Pengukuran *shrinkage* pada injeksi molding untuk setiap percobaan spesimen sesuai standar ASTM D955. Pada ASTM D955 – 00 dijelaskan bahwa pengukuran dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu pada temperatur standar laboratorium dan sebanyak 3 kali. Pengukuran pertama pada 1 jam setelah spesimen keluar dari rongga cetak,

kedua pada 24 jam proses pendinginan berlangsung dan saat 48 jam pada proses yang sama. Pengambilan data ukuran spesimen pada waktu tersebut diyakini merupakan waktu optimal terjadinya penyusutan pada produk.

ASTM D955 – 00 menjelaskan tentang metode dalam menentukan nilai *shrinkage* khususnya pada material termoplastik. Berikut ini adalah perhitungan untuk mencari nilai *shrinkage* material:

$$S_l = \frac{(L_m - L_s)}{L_m} \times 100\% \quad (2.1)$$

$$S_n = \frac{(L_m - L_n)}{L_m} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana:

S_l = *Shrinkage* searah datangnya material plastik

S_n = *Shrinkage* tegak lurus datangnya material plastik

L_m = Panjang cetakan yang searah datangnya material plastik

L_s = Panjang spesimen searah datangnya material plastik

L_n = Panjang spesimen tegak lurus datangnya material plastik

2.7. Desain Eksperimen

Eksperimen memainkan peran penting dalam komersialisasi teknologi dan kegiatan realisasi produk, yang terdiri dari desain produk baru dan formulasi, pengembangan proses manufaktur, dan peningkatan proses. Desain eksperimen adalah tes atau serangkaian pengujian di mana perubahan yang disengaja dibuat untuk variabel input dari suatu proses atau sistem sehingga penguji dapat mengamati dan mengidentifikasi alasan untuk perubahan respon tersebut. Tujuannya dalam banyak kasus mungkin untuk mengembangkan proses yang kuat yaitu, proses mempunyai dampak minimal terhadap variabilitas eksternal (Montgomery, 2001).

2.7.1. Langkah-Langkah Desain Eksperimen

Pendekatan statistik digunakan dalam merancang dan menganalisis desain eksperimen, hal ini penting dalam setiap komponen yang terlibat dalam percobaan untuk memiliki tujuan

yang jelas sebelum apa yang akan dipelajari, bagaimana data dikumpulkan, dan setidaknya pemahaman kualitatif tentang bagaimana data ini harus dianalisis. Coleman dan Montgomery (1993) menjelaskan langkah langkah dalam desain eksperimen:

1. Mengenali permasalahan yang akan dihadapi
Dengan melakukan identifikasi permasalahan, diperoleh suatu kesimpulan yang dapat menjawab segala permasalahan. Dari permasalahan yang ada kemudian dibuat suatu pernyataan yang tepat mewakili permasalahan agar memperoleh penyelesaian yang tepat. Ada beberapa alasan untuk menjalankan eksperimen dan setiap jenis eksperimen akan menghasilkan daftar pernyataan spesifiknya sendiri. Beberapa alasan tersebut diantara lain; karakteristik faktor, optimasi, konfirmasi, penemuan eksperimen, kekokohan.
2. Menentukan Variabel Respon
Dalam memilih variabel respon, eksperimen harus yakin bahwa variabel ini benar-benar memberikan informasi yang berguna proses yang diteliti. Paling sering, rata-rata atas standar deviasi (atau keduanya) dari karakteristik yang diukur akan menjadi variabel respon.
3. Memilih Faktor, Level dan Jarak
Ketika mempertimbangkan faktor-faktor yang mungkin mempengaruhi kinerja proses atau sistem, eksperimen biasanya menemukan bahwa faktor-faktor ini dapat diklasifikasikan sebagai faktor desain potensial atau gangguan faktor-faktor. Faktor desain potensial adalah faktor-faktor yang mungkin diinginkan oleh eksperimen bervariasi dalam percobaan.
4. Memilih Desain Eksperimen
Metode desain eksperimen harus disesuaikan dengan tujuan penelitian dan permasalahan yang ada. Beberapa metode desain eksperimen antara lain desain factorial, Taguchi, dan permukaan respon. Dalam penelitian ini digunakan metode permukaan respon (*Response Surface*).

5. Melakukan Percobaan

Saat menjalankan eksperimen, penting untuk memantau prosesnya dengan hati-hati untuk memastikan bahwa semuanya dilakukan sesuai rencana. Kesalahan dalam prosedur eksperimental pada tahap ini biasanya akan menghancurkan eksperimen keabsahan.

6. Analisis Data dan Statistik

Metode statistik digunakan untuk menganalisis data sehingga hasil dan kesimpulannya lebih objektif daripada bersifat menghakimi. Jika itu percobaan telah dirancang dengan benar dan dilakukan sesuai dengan desain, analisis data menggunakan metode statistik yang dibutuhkan tidak rumit.

7. Rekomendasi dan Kesimpulan

Setelah data telah dianalisis, eksperimen harus menarik kesimpulan secara praktis tentang hasil dan merekomendasikannya. Metode grafis sering berguna pada tahap ini, khususnya dalam penyajian hasil kepada orang lain. Tindak lanjut dan pengujian konfirmasi juga harus dilakukan untuk memvalidasi kesimpulan dari percobaan.

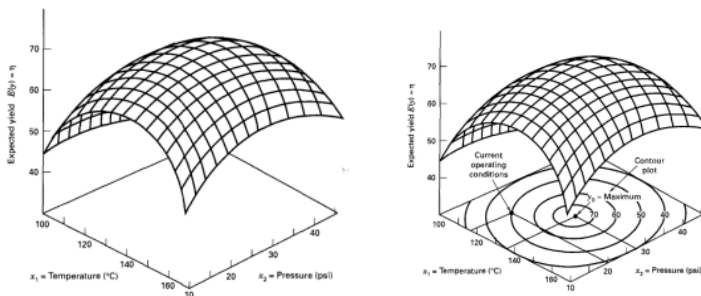
2.7.2. *Response Surface Methods*

Menurut Montgomery (2001), *Response Surface Methodology* (RSM) atau Metode Permukaan Respon adalah sekumpulan metode-metode matematika dan statistika yang digunakan dalam pemodelan dan analisis, yang bertujuan untuk melihat pengaruh beberapa variabel kuantitatif terhadap suatu variabel respon dan untuk mengoptimalkan variabel respon tersebut. Sebagai contoh, akan dicari level-level dari suhu (x_1) dan tekanan (x_2) yang dapat mengoptimalkan suatu hasil produksi (y). Hubungan variabel-variabel tersebut dapat dituliskan dalam sebuah persamaan sebagai berikut:

$$y = f(x_1 + x_2) + \varepsilon \quad (2.3)$$

Dimana ε_i merupakan error pengamatan pada respon y . Jika nilai harapan respon dituliskan $E(y) = f(x_1 + x_2) = \eta$, maka $\eta = f(x_1 + x_2)$ mempresentasikan *response surface*.

Pada umumnya, permukaan respon digambarkan dengan sebuah grafik, seperti yang tampak pada Gambar 1. Untuk membantu visualisasi dari bentuk permukaan plot, sering digunakan kontur dari permukaan respon, seperti yang terlihat pada Gambar 2.10. Pada kontur tersebut, garis respon yang konstan berada pada permukaan datar (x_1, x_2), sedangkan garis respon yang lain berada pada permukaan lengkung di atasnya.



Gambar 2. 10 [kiri] Ilustrasi Plot Permukaan Respon [kanan] Ilustrasi Plot Kontur *Response Surface* (Montgomery, 2001)

Permasalahan umum pada metode permukaan respon adalah bentuk hubungan antara variable respon dengan variabel independen tidak diketahui. Oleh karena itu, langkah pertama dalam metode permukaan respon adalah mencari bentuk hubungan antara respon dengan beberapa variable independen melalui pendekatan yang sesuai. Bentuk hubungan linier merupakan bentuk hubungan yang dicobakan pertama kali karena merupakan bentuk hubungan yang paling sederhana (*low-order polynomial*). Jika ternyata bentuk hubungan antara respon dengan variabel independen adalah fungsi linier, pendekatan fungsinya disebut *first-order model*, seperti yang ditunjukkan dalam persamaan berikut

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon_i \quad (2.4)$$

Jika bentuk hubungannya merupakan kuadrat, maka untuk pendekatan fungsinya digunakan derajat polinomial yang lebih tinggi yaitu *second-order model*

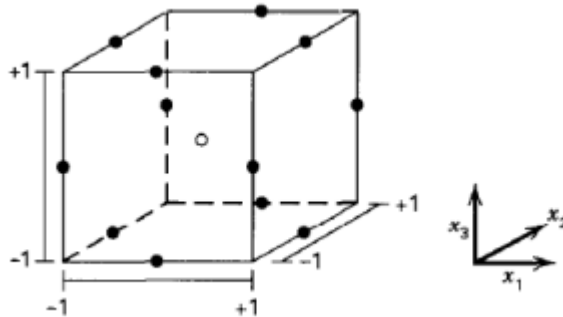
$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_{ii}^2 + \dots + \sum_{i < j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2.5)$$

Hampir semua permasalahan dalam metode permukaan respon menggunakan salah satu atau kedua model diatas. Setelah diperoleh bentuk hubungan yang paling sesuai, langkah selanjutnya adalah mengoptimalisasi hubungan tersebut. Jika permukaan yang paling sesuai dicari melalui pendekatan yang cukup, maka hasil analisis ini akan mendekati fungsi yang sebenarnya.

Pemilihan rancangan percobaan yang sesuai beserta analisisnya untuk permukaan respon adalah hal yang sangat penting. Berikut ada beberapa kriteria dalam pemilihan rancangan percobaan yang sesuai untuk metode permukaan respon:

1. Memberikan gambaran distribusi dan informasi yang jelas berdasarkan data pada seluruh daerah yang difokuskan
2. Memungkinkan untuk mencari model yang memenuhi kelayakan model
3. Memungkinkan untuk membuat blok-blok dalam percobaan.
4. Memungkinkan untuk membuat rancangan-rancangan yang mempunyai orde lebih tinggi
5. Memberikan pendugaan *error* dalam rancangan
6. Memberikan pendugaan koefisien model yang tepat
7. Memberikan pendugaan varianss yang baik
8. Bersifat *robust* terhadap *outliers* maupun data hilang
9. Tidak membutuhkan unit percobaan yang besar
10. Tidak membutuhkan terlalu banyak level dalam variabel independent
11. Memberikan kemudahan dalam perhitungan parameter model

Box dan Behnken (1960) memperkenalkan rancangan tiga-tahap untuk menyusun respon surface. Rancangan ini dibentuk dengan mengombinasikan factorial 2^k dengan rancangan kelompok tidak lengkap (*incomplete blocking*) gambar 2.11. Desain *box-behnken* digunakan untuk eksperimen yang tidak sekuensial, dimana hanya dilakukan satu kali pengambilan eksperimen.



Gambar 2. 11 Rancangan *Box-Behnken* Untuk Tiga Faktor ($k=3$)
(Montgomery, 2001)

Hasil rancangan umumnya sangat efisien dalam kaitannya dengan menentukan banyaknya percobaan yang harus dilakukan serta rancangan ini memenuhi rotatabilitas atau paling tidak hampir rotatabilitas. Rancangan percobaan *box-behnken* ditunjukkan pada tabel 2.2 (Montgomery, 2001).

Tabel 2. 2 Rancangan Percobaan *Box-Behnken* Dengan $k=3$

No	X_1	X_2	X_3
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1

No	X_1	X_2	X_3
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

2.7.3. Analisa Statistik Hasil Percobaan

Analisis statistik yang tepat sangat diperlukan untuk pengambilan keputusan. Saat ini permasalahan-permasalahan statistika tidak lagi menjadi masalah yang rumit karena seiring dengan perkembangan teknologi komputer, dalam penelitian ini digunakan perangkat lunak Minitab 18 untuk membantu melakukan analisa statistik. Perhitungan manual menggunakan formulasi ANOVA ditunjukkan pada tabel 2.3 (Ria Faulina, 2011).

Tabel 2. 3 Formulasi ANOVA

Sumber Keragaman	Derajat Bebas (db)	Jumlah Kuadrat (SS)	Kuadrat tengah (MS)	F_{hitung}
Regresi	$p - 1$	$\sum_{i=1}^N (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$	$\frac{SSR}{p - 1}$	$\frac{MSR}{MSE}$
Error	$n - p$	$\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{SSE}{n - p}$	-
Lack of Fit	$\sum_{j=1}^J (n_j - 1)$	$\sum_{j=1}^J \sum_{u=1}^{n_j} (Y_{ju} - \bar{Y}_j)^2$	$\frac{SS_{LOF}}{(\sum_{j=1}^J (n_j - 1))}$	$\frac{MS_{LOF}}{MS_{Pure Error}}$
Pure Error	$n - p - \sum_{j=1}^J (n_j - 1)$	$SSE - SS_{LOF}$	$\frac{SSE - SS_{LOF}}{n - p - \sum_{j=1}^J (n_j - 1)}$	-
Total	$n - 1$	$\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2$	-	-

A. Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien Determinasi (R^2) adalah suatu nilai statistik yang menunjukkan presentase total variasi nilai variable dependen (Y) yang dapat dijelaskan oleh persamaan regresi yang dihasilkan. Koefisien determinasi nilainya terletak antara $0 < R^2 < 1$. Semakin besar nilai R^2 , maka semakin besar pula pengaruh semua variable X terhadap respon Y.

B. Pengujian Adanya Penyimpangan (*Lack Of Fit*)

Pengujian adanya penyimpangan pada model orde satu atau orde kedua dapat dilakukan dengan menggunakan *lack of fit*. Tujuan dari *lack of fit* adalah untuk mengetahui kesesuaian model yang dihasilkan

Hipotesanya:

H_0 : tidak ada lack of fit dalam model

H_1 : Ada lack of fit dalam model

Statistik uji adalah $F_{rasio} = \frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}}$

Daerah penolakan yaitu tolak H_0 apabila $F_{rasio} > F_{hitung}$, yang bearti ada ketidaksesuaian (lack of fit) antara model yang diduga dengan model sebenarnya.

C. Pengujian Parameter Serentak

Hipotesis yang digunakan dalam pengujian parameter regresi secara serentak adalah sebagai berikut:

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$

H_1 : minimal ada satu $\beta_j \neq 0 ; j = 1, 2, \dots, k$

Statistik yang digunakan:

$$F_{hitung} = \frac{MS_R}{MS_E} = \frac{SS_R/k}{SS_E/(N-1-K)}$$

Daerah penolakan yaitu tolak H_0 pada tingkat kepercayaan α apabila $F_{hitung} > F_{(a;k,n-1-k)}$, yang bearti secara statistik variable-variabel X memberikan sumbangan cukup bearti dalam model.

D. Pengujian Secara Individu

Pengujian parameter secara individu digunakan untuk mengetahui seberapa besa sumbangan tiap-tiap parameter variable bebas terhadap terjadinya perubahan pada variable respon Y dalam model. Hipotesisnya adalah:

$H_0 : \beta_i = 0$

$H_1 : \beta_i \neq 0$

E. Asumsi Residual

Residual didefinisikan sebagai selisih antara nilai pengamatan dan nilai dugaannya ($e_i = Y_i - \hat{Y}_i$). dalam analisis regresi terdapat asumsi bahwa residual bersifat bebas satu sama lain (independent)., mempunyai mean nol dan varians yang konstan σ^2 (identik) dan berdistribusi normal.

F. Uji distribusi normal

Kolmogorov-smirnov normally test merupakan salah satu pengujian kenormalan residual. Hipotesa yang digunakan:

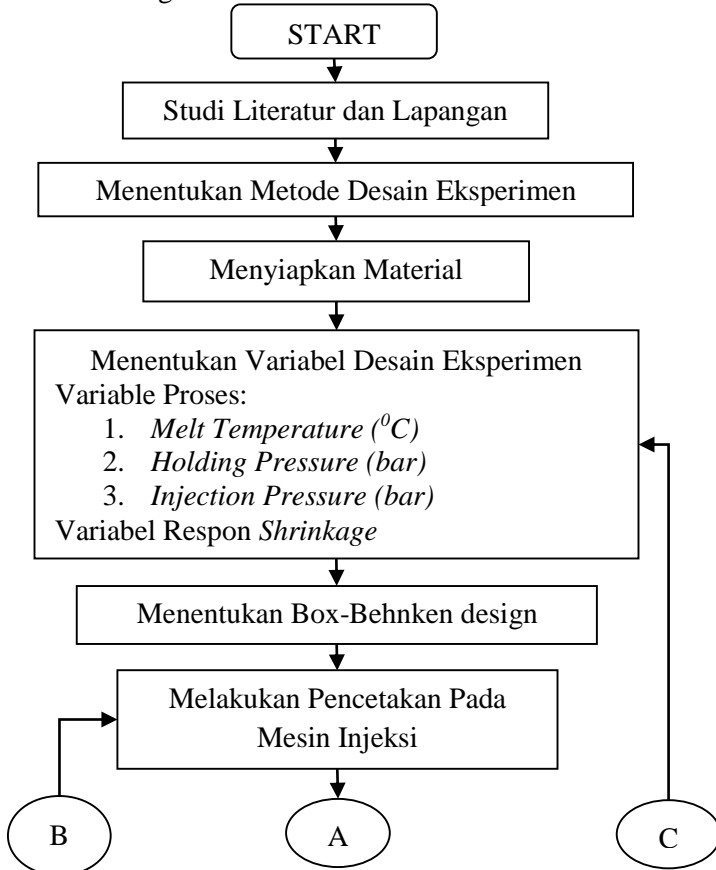
H_0 : residual berdistribusi normal

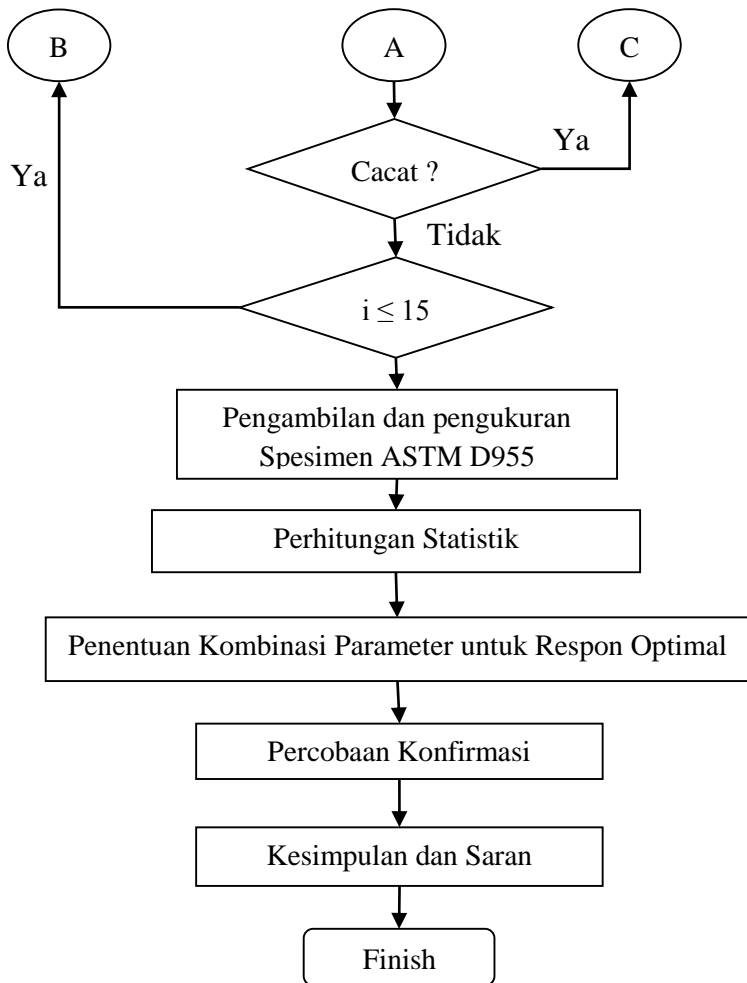
H_1 : residual tidak berdistribusi normal

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah dalam penyusunan penelitian penentuan parameter shrinkage pada spesimen ASTM D955 pada mesin Injeksi Moulding HAITIAN MA 900/260e





Gambar 3. 1 Diagram Alir

3.2. Langkah-langkah Desain Eksperimen

Pada proses desain eksperimen diperlukan langkah-langkah yang terstruktur dan sistematis dalam penyusunannya

agar dapat mudah dipahami dan dimengerti. Diantara langkah-langkah tersebut antara lain studi literatur dan lapangan, menyiapkan material, perumusan masalah, penentuan nilai variabel, nilai optimum *shrinkage*, pengambilan dan pengolahan data, kesimpulan dan saran.

3.2.1. Studi Literatur dan Lapangan

Literatur yang digunakan desain eksperimen yang memperoleh parameter optimum pada sifat penyusutan (*shrinkage*) material biokomposit berstandar ASTM D955 diperoleh dari penelitian terdahulu, jurnal ilmiah, buku yang berkaitan serta sumber-sumber lain yang dapat membantu dalam penelitian ini. Studi lapangan adalah kegiatan untuk mengetahui adanya masalah dilapangan yang berhubungan pada proses injeksi di mesin. Dari studi lapangan didapatkan hal-hal yang tidak diperoleh pada studi literatur seperti pengoperasian mesin injeksi.

3.2.2. Perumusan Masalah

Setelah menentukan kerangka desain eksperimen yang akan dilakukan dan material telah dipersiapkan maka dilakukan identifikasi masalah dan menentukan variable yang akan digunakan pada tugas akhir ini. Penelitian ini difokuskan pada penentuan parameter mesin injeksi moulding HAITIAN MA 900/260e terhadap *shrinkage* pada spesimen ASTM D955 menggunakan *Response Surface Methods*.

3.2.3. Menyiapkan Material

Material yang disiapkan berupa *polypropylene* yang dicampur dengan serat alam yaitu sisal. Material tersebut diikat dengan bantuan *Maleic anhydride polypropylene* (MAPP). Proses pembuatan material ditunjukkan pada gambar 3.2. Material yang digunakan dalam studi eksperimen adalah Biokomposit campuran 10% serat sisal, 10% MAPP, 80% PP (BSS). Sebelum dilakukan proses cetak uji spesimen material diolah menjadi pellet agar terdistribusi secara merata.



Gambar 3. 2 Proses Persiapan Material

Penjelasan dari gambar 3.2, A menunjukkan sisal sebelum dipotong, B sisal dipotong sepanjang 1 – 2 cm, C dilakukan penggilingan pada mesin Ball Mill, D Material sisal setelah dimasukkan pada mesin Ball Mill.

3.2.4. Variable Desain Eksperimen

Variabel-variabel yang akan diteliti adalah variabel yang dapat dilakukan atau *settings* pada mesin mesin injeksi moulding HAITIAN MA 900/260e dan diduga memiliki pengaruh signifikan terhadap *shrinkage*. Variabel-variabel tersebut secara detil diuraikan sebagai berikut:

1. Variabel Proses

Merupakan variabel yang dapat dikendalikan dan besarnya dapat ditentukan, berdasarkan pertimbangan tertentu dan tujuan dari penelitian. Pada penelitian ini yang menjadi variabel proses adalah:

	-1	0	1
<i>Melt Temperature ($^{\circ}C$)</i>	185	195	205
<i>Holding Pressure (bar)</i>	25	30	35
<i>Injection Pressure (bar)</i>	50	55	60

2. Variabel Respon

Merupakan variabel tak bebas yang besarnya tidak dapat ditentukan, dan nilainya dipengaruhi oleh perlakuan yang diberikan, serta hasilnya diketahui setelah melaksanakan penelitian. Variabel respon pada penelitian adalah $Y_1 = \text{shrinkage (\%)}$.

3. Variabel Konstan

Variabel konstan merupakan variabel proses yang tidak diteliti. Variabel ini dijaga agar tidak berubah selama proses penelitian, sehingga tidak mempengaruhi hasil penelitian. Variabel *mold temperature* dianggap konstan sebesar 60 °C karena keterbatasan alat pengukuran dan *cooling system* pada penelitian ini tidak dilakukan.

3.2.5. Proses Pencetakan

Proses pencetakan dilakukan di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Mesin injeksi yang digunakan dalam pengambilan data untuk mengpenentuan parameter yang mempengaruhi *shrinkage* pada spesimen standar ASTM D955 adalah mesin injeksi buatan China merk Haitian dengan tipe MA900II/260E gambar 3.3. Rancangan percobaan berdasarkan desain *Box-Behnken* dapat ditunjukkan Tabel 3.1.



Gambar 3. 3 Mesin Injeksi Merk Haitian Tipe MA900II/260E

Tabel 3. 1 Rancangan Percobaan Box-Behnken

Std Order	Run Order	Blocks	Parameter Proses		
			Melt Temperature (°C)	Holding Pressure (Bar)	Injection Pressure (Bar)
7	1	1	185	30	60
4	2	1	205	35	55
5	3	1	185	30	50
14	4	1	195	30	55
15	5	1	195	30	55
10	6	1	195	35	50
11	7	1	195	25	60
8	8	1	205	30	60
2	9	1	205	25	55
3	10	1	185	35	55
1	11	1	185	25	55
13	12	1	195	30	55
6	13	1	205	30	50
9	14	1	195	25	50
12	15	1	195	35	60

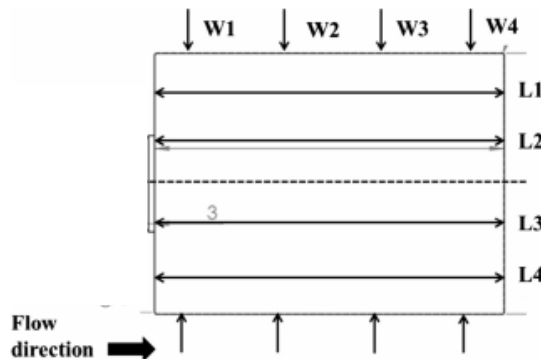
3.2.6. Pemeriksaan Cacat

Pengecekan cacat dilakukan setelah dilakukan proses pencetakan. Spesimen dicek apakah mengalami cacat produk, apabila spesimen tidak mengalami cacat dilakukan pengukuran untuk melihat besar nilai *shrinkage*. Cacat produk yang dapat terjadi pada studi eksperimen ini dapat berupa *flash* ataupun *short shot*. Flash pada spesimen dapat disebabkan dengan tingginya parameter proses *injection pressure* yang digunakan, sedangkan *short shot* dapat terjadi rendahnya nilai *injection pressure*. Pada studi ekspeimen ini *injection pressure* yang digunakan antara 20-100 bar berstandarkan ASTM D955, kemudian dilakukan pemilihan nilai yang akan digunakan pada parameter *injection pressure*. Pada percobaan dengan nilai *injection pressure* sebesar 40 bar mengalami *short shot* dan 70 bar mengalami *flash*.

Spesimen yang mempunyai cacat dilakukan kajian ulang level parameter yang digunakan, sehingga didapatkan nilai *injection pressure* yang digunakan sebesar 50-60 bar.

3.2.7. Pengambilan dan Pengolahan Data

Paramater-parameter yang telah ditentukan diaplikasikan kedalam mesin cetak injeksi yang kemudian diukur hasil cetak mesin injeksi untuk mengamati efek parameter tersebut terhadap *shrinkage* spesimen ASTM D955. Pengukuran panjang dan lebar dilakukan empat kali pengukuran pada spesimen menggunakan Vernier caliper dengan akurasi $\pm 0,01$ mm. Pengukuran panjang arah aliran adalah L1, L2, L3 dan L4 sedangkan pengukuran lebar dalam tegak lurus aliran adalah W1, W2, W3 dan W4 seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3. Hasil pengukuran dilakukan pengolahan data menggunakan software Minitab 18 sehingga didapatkan nilai parameter optimum pada mesin cetak injeksi tersebut.



Gambar 3. 4 Lokasi pengukuran Panjang Dan Lebar Spesimen

Pengambilan data dilakukan secara *random* dengan kombinasi parameter proses yang terdapat pada rancangan Tabel 3.1, kemudian didapatkan spesimen dengan replikasi pengukuran

sebanyak 3 kali. Hal tersebut bertujuan untuk mencegah gangguan (*noise*) pada proses pengukuran dan pengolahan data.

3.2.8. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini semua hasil pembahasan akan disimpulkan guna menjawab permasalahan yang telah disebutkan. Serta diberikan saran terhadap proses penentuan parameter optimum pada mesin cetak injeksi, hal ini berguna untuk dilakukan penelitian selanjutnya.

BAB IV

PENGAMBILAN DAN PENGUKURAN SPESIMEN

Proses pengambilan data pada mesin injeksi molding Haitian MA 900/260e dilaksanakan sesuai *Box-Behnken Design* dengan parameter proses pada tabel 3.1. Sebelum melakukan proses pengambilan data penting untuk menyiapkan material dan mesin injeksi agar langkah-langkah yang dilakukan sesuai dengan desain eksperimen yang akan dibuat dan meminimalisir gangguan parameter injeksi yang lain.

4.1 Langkah-langkah eksperimen

Berikut ini langkah- langkah eksperimen yang dilakukan:

1. Menyiapkan material biokomposit yaitu serat sisal dengan potongan sebesar 10 -15 mm.
2. Material biokomposit yang telah dipersiapkan kemudian dimasukkan kedalam oven untuk dikeringkan pada suhu 80 °C selama 24 jam di laboratorium *Concrete and Building Materials* departemen Teknik Sipil ITS.
3. Material biokomposit yang telah dikeringkan kemudian dimasukkan ke dalam mesin *Ball Mill* selama 2-4 jam hingga material tersebut sesuai ukuran ayakan 50 mesh.
4. Material biokomposit tersebut kemudian dicampur sesuai dengan komposisi yang dibutuhkan yaitu biokomposit serat sisal (BSS) 80 % PP, 10% MAPP, 10% Serat sisal Pada pengukuran diambil sampling berat total sebanyak 1 kg dengan rincian 800 gram *Polypropelene* (PP), 100 gram MAPP, dan 100 gram komposit serat sisal pengukuran tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Pengukuran Komposisi Material

5. Material biokomposit dijadikan satu untuk yang biokomposit serat sisal dibuat sesuai yang dibutuhkan.
6. Material biokomposit yang telah dijadikan satu dalam satuan 1 kg dimasukkan ke dalam mesin injeksi untuk dilakukan ekstrusi agar material tersebut menjadi pellet gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Pellet Biokomposit Serat Sisal

7. Pellet material biokomposit baik serat sisal dikumpulkan dan dipersiapkan untuk proses injeksi.
8. Proses injeksi molding menggunakan material *polypropylene* (PP) murni selama 15 menit agar temperatur mold konstan kemudian material biokomposit dimasukkan hingga produk hasil injeksi berwarna merata. Hal tersebut menunjukkan material biokomposit tercampur dengan sempurna.



Gambar 4. 3 Perbedaan material produk proses injeksi [kiri] PP [kanan] BSS

9. Pengambilan data dilakukan sesuai rancangan *box-behnken design* pada tabel 3.1. Sample produk yang diambil sebanyak 15 buah, kemudian produk yang dihasilkan dipotong menjadi sampel pengukuran uji shrinkage. Setiap satu produk menghasilkan 2 buah sample uji pengukuran gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Spesimen uji shrinkage Biokomposit Serat Sisal (BSS)

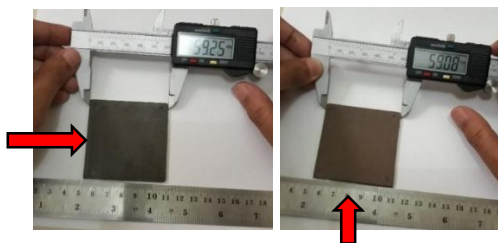
10. Hasil spesimen uji shrinkage kemudian dilakukan pengukuran dengan replikasi sebanyak 3 kali pada setiap parameter prosesnya. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan searah aliran dan tegak lurus aliran datangnya plastik setiap material biokomposit.

Proses pengambilan data dengan menggunakan mesin injeksi molding HAITIAN MA 900/260E memerlukan beberapa parameter yang harus dijaga konstan untuk menghilangkan faktor gangguan (*noise*). Berdasarkan rancangan Tubagus Bima (2017) dan dilakukan pengujian kembali pada mesin injeksi molding didapatkan parameter proses untuk pengujian ASTM D955-0 yang akan dijaga konstan diantaranya:

- Injection Time : 1.85 s
- Holding Time : 10 s
- Cycle Time : ± 35.5 s
- Mold Temperature : ± 60 °C

4.2. Pengukuran Spesimen

Produk yang dihasilkan pada mesin Haitian MA 900/260e kemudian dipotong agar berbentuk spesimen uji, dimana setiap satu produk dihasilkan 2 buah spesimen uji. Pengukuran spesimen uji dengan material Biokomposit Serat Sisal (BSS) dilakukan searah (L) aliran dan tegak lurus (W) datangnya aliran plastik. Gambar 4.5a merupakan salah satu contoh pengukuran spesimen pada material BSS searah aliran datangnya plastik pada replikasi ke-1 di titik ke-1, sedangkan gambar 4.5b material BSP tegak lurus aliran pada replikasi ke-1 di titik ke-4 pada percobaan parameter proses ke-1.



Gambar 4. 5 Contoh pengukuran pada spesimen uji shrinkage ASTM D955 [kiri] BSS searah Aliran dan [kanan] BSS tegak lurus aliran

4.2.1 Material BSS Searah Aliran

Tabel 4. 1 Prosentase Shrinkage Material BSS Searah Aliran

Percobaan Ke-	Parameter Proses			Shrinkage (%)
	Melt Temperature (°C)	Holding Pressure (Bar)	Injection Pressure (Bar)	
1	185	30	60	1.17
2	205	35	55	1.26
3	185	30	50	1.17
4	195	30	55	1.26
5	195	30	55	1.23
6	195	35	50	1.20
7	195	25	60	1.22
8	205	30	60	1.25
9	205	25	55	1.29
10	185	35	55	1.09
11	185	25	55	1.24
12	195	30	55	1.20
13	205	30	50	1.28
14	195	25	50	1.14
15	195	35	60	1.09

Proses pengambilan data ditunjukkan pada lampiran 1 dan hasil shrinkage pada tabel 4.1, di dapatkan nilai shrinkage terendah pada percobaan ke-10 dan ke-15 sebesar 1.09%. Parameter injeksi pada percobaan ke-10 diantaranya *melt temperature* 185°C, *holding pressure* 35 bar dan *injection pressure* 55 bar. Percobaan ke-15 menggunakan parameter injeksi *melt temperature* 195°C, *holding pressure* 35 bar dan *injection pressure* 60 bar. Hasil pengukuran pada percobaan ke-10 yang mendekati nilai shrinkage terendah terdapat pada replikasi ke-2 di titik ke-4 sebesar 59.33 mm, sedangkan pada percobaan ke-15 terdapat pada replikasi ke-4 di titik 1,4 dan ke-5 di titik 1 sebesar 59.32 mm (lampiran1).

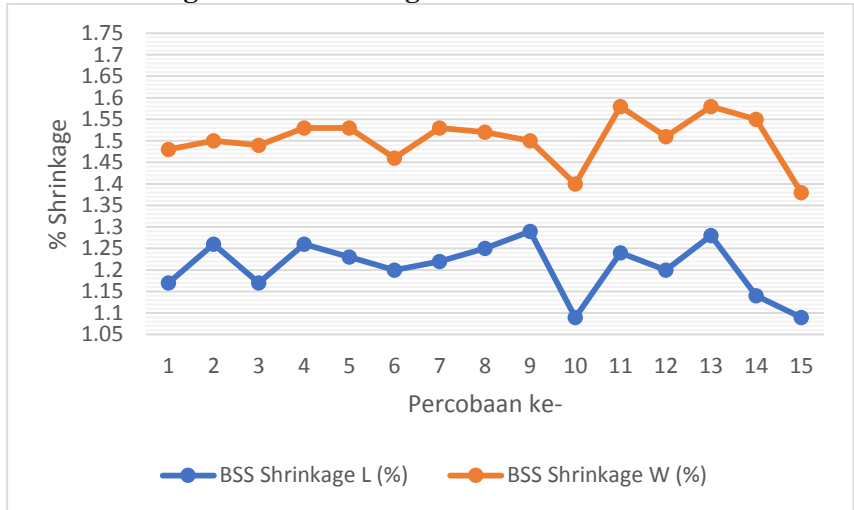
4.2.2 Material BSS Tegak Lurus Aliran

Tabel 4. 2 Prosentase Shrinkage Material BSS Tegak Lurus Aliran

Percobaan Ke-	Parameter Proses			Shrinkage (%)
	Melt Temperature (°C)	Holding Pressure (Bar)	Injection Pressure (Bar)	
1	185	30	60	1.48
2	205	35	55	1.50
3	185	30	50	1.49
4	195	30	55	1.53
5	195	30	55	1.53
6	195	35	50	1.46
7	195	25	60	1.53
8	205	30	60	1.52
9	205	25	55	1.50
10	185	35	55	1.40
11	185	25	55	1.58
12	195	30	55	1.51
13	205	30	50	1.58
14	195	25	50	1.55
15	195	35	60	1.38

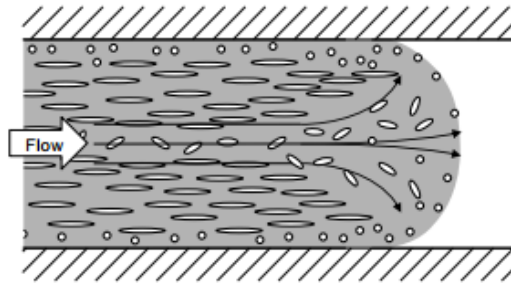
Proses pengambilan data ditunjukkan pada lampiran 2 dan hasil shrinkage pada tabel 4.2, di dapatkan nilai shrinkage terendah pada percobaan ke-15 sebesar 1.38%. Parameter injeksi pada percobaan ke-15 diantaranya *melt temperature* 195°C, *holding pressure* 35 bar dan *injection pressure* 60 bar. Hasil pengukuran pada percobaan ke-15 yang mendekati nilai shrinkage terendah terdapat pada replikasi ke-6 di titik ke-1 sebesar 59.18 mm.(lampiran2).

4.3 Perbandingan Nilai Shrinkage Material BSS



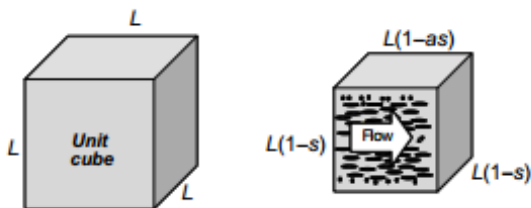
Gambar 4. 6 Perbandingan Prosentase Shrinkage Ditinjau Datangnya Aliran Plastik

Perbandingan grafik nilai shrinkage material ditunjukkan pada gambar 4.6. Nilai shrinkage material Biokomposit Serat Sisal (BSS) searah aliran (L) memiliki presentase lebih rendah dibandingkan dengan tegak lurus (W) arah aliran datangnya plastik. Material plastik dan biokomposit memiliki sifat anisotropik yaitu memiliki *properties* yang berbeda tergantung pada arah datangnya aliran. Material anisotropik dimana molekul atau serat dapat menjadi sangat sejajar dalam bidang aliran selama proses *filling* dan proses *packing* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. *Shear flow* selama proses *filling* dan *packing* akan cenderung mengarahkan lelehan plastik ke arah aliran yang disebabkan sebagian besar dari ketebalan suatu produk/specimen.



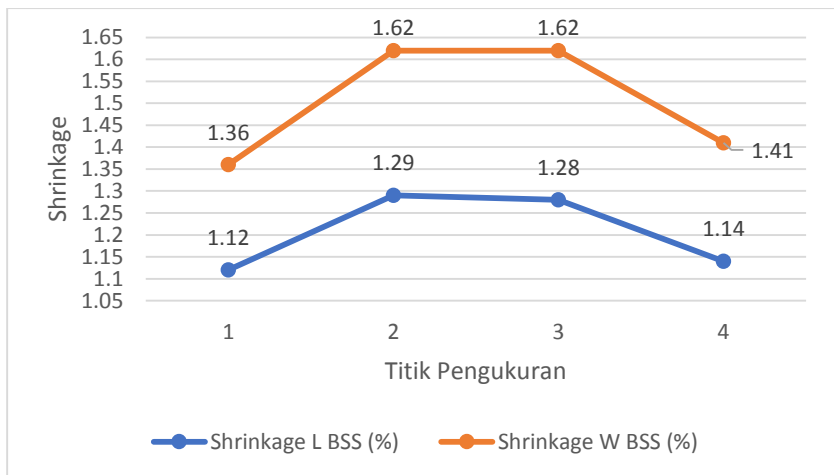
Gambar 4. 7 Orientasi Aliran Plastik Anisotropic (Kazmer, 2007)

Fenemona tersebut dapat dipengaruhi dari sifat material kedua biokomposit tersebut diantaranya *density* dan *Coefficient of Thermal Expansion*. Prosentase shrinkage yang dihasilkan lebih kecil dari arah datangnya aliran secara tegak lurus dikarenakan serat sisal terdistribusi searah aliran plastic sehingga dapat menahan penyusutan yang terjadi pada searah aliran datangnya plastik. Hal ini juga dapat disebabkan semakin rendah nilai dari *coefficient of thermal expansion* material juga akan cenderung memiliki nilai shrinkage yang lebih rendah. Hubungan antara penyusutan linear secara volumetrik dan anisotropik adalah ditunjukkan pada Gambar 4.8, di mana variabel a mewakili fraksi anisotropi dalam aliran.



Gambar 4. 8 Volumetric dan Anistropic Material

Pada gambar 4.9 menunjukkan grafik rata-rata prosentase nilai shrinkage di tiap titik spesimen. Titik ke-1 dan ke-4 memiliki nilai prosentase shrinkage lebih rendah dibandingkan pada titik ke-2 dan ke-3. Proses pendinginan pada cairan plastik cenderung diawali pada daerah yang bersentuhan dengan sisi rongga cavity menuju pusat dari spesimen. Hal tersebut dikarenakan temperatur pada pusat spesimen lebih tinggi dibandingkan pada sisi luar spesimen. Temperatur yang tinggi menyebabkan *density* yang lebih rendah, sehingga pada sisi luar spesimen memiliki *density* yang lebih tinggi. Hal tersebut memiliki efek yang signifikan terhadap arah orientasi aliran molekul polimer dan prosentase besar nilai dari shrinkage. Prosentase shrinkage pada titik ke-1 lebih rendah dibandingkan pada titik ke 4, dikarenakan arah datangnya aliran plastik bermula di titik ke-1 dan berakhir pada titik ke-4.



Gambar 4. 9 Prosentase Shrinkage Tiap Titik

(Halaman Sengaja Dikosongkan)

BAB V

ANALISA STATISTIK

RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)

Hubungan parameter mesin injeksi molding terhadap variable respon shrinkage dapat diketahui berdasarkan rancangan *box-behnken* yang telah dibuat pada tabel 3.1. software yang digunakan dalam pemodelan statistic yaitu Minitab 18 dan Mesin yang digunakan untuk operasional pengambilan data Haitian MA 900/260e di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Pendugaan model yang dilakukan menggunakan bentuk orde kedua (*polynomial*). Pengujian model dilakukan dengan besar nilai dari *lack of Fit* dalam model dan koefisien pengujinya. Jika memenuhi persyaratan koefisien penguji antara lain dilakukan uji koefisien regresi dan uji residual data kemudian dilakukan optimasi respon. Optimasi parameter dapat diketahui level atau nilai parameter berdasarkan hasil nilai shrinkage yang minimum. Parameter optimasi yang didapatkan, selanjutnya dilakukan pengujian konfirmasi untuk mendapatkan nilai shrinkage yang minimum.

Paired sample-T test merupakan uji beda dua sampel berpasangan. *Paired sample-T test* dilakukan untuk melihat specimen uji yang sama dengan perlakuan pengukuran yang berbeda yaitu searah aliran plastik dan tegak lurus aliran plastik. Data dari *Paired sample-T* digunakan untuk menguji hipotesa awal $H_0 : \delta = \delta_0$ dimana δ adalah pebedaan mean diantara sampel. Nilai δ_0 merupakan hipotesa nilai δ dan biasanya $\delta_0 = 0$. Jadi tidak ada perbedaan pada sampel tersebut dikarenakan perlakuaannya. Data pengujian sampel ditujukan pada tabel 4.1 untuk searah aliran plastik dan tabel 4.2 untuk tegak lurus datangnya arah aliran plastik. Hasil *Paired sample-T* ditunjukkan pada tabel 5.1

Tabel 5. 1 Hasil pengujian *paired sample-T* tegak lurus dan searah aliran

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
tegak lurus	15	1.5027	0.0566	0.0146
searah	15	1.2127	0.0606	0.0157

Estimation for Paired Difference

Mean	StDev	SE Mean	95% CI for $\mu_{\text{difference}}$
0.29000	0.03402	0.00878	(0.27116, 0.30884)

$\mu_{\text{difference}}$: mean of (tegak lurus - searah)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_{\text{difference}} = 0$

Alternative hypothesis $H_1: \mu_{\text{difference}} \neq 0$

T-Value	P-Value
33.02	0.000

Berdasarkan data Tabel 5.1 menunjukkan $T_{\text{hitung}} = 33.02$, sedangkan T_{tabel} untuk *two-tail* $\alpha=0.05$ dengan $v = 15-1 = 14$ daerah yang diterima pada distribusi t adalah < 2.145 . Nilai $T_{\text{hitung}} > T_{\text{tabel}}$, maka H_0 ditolak. Pernyataan yang dapat disimpulkan pengukuran tegak lurus aliran berbeda dengan searah aliran pada parameter yang sama.

5.1 Analisa RSM Material Biokomposit Serat Sisal (BSS)

Searah Aliran

Pengambilan data dilakukan berdasarkan Tabel 3.1 didapatkan rata-rata nilai shrinkage tiap parameter pada lampiran 5. Nilai rata-rata ini didapatkan melalui pengukuran terhadap searah aliran plastik pada spesimen uji material Biokomposit Serat Sisal.

5.1.1 Pendugaan Orde Kedua Shrinkage

Analisa pendugaan model orde kedua material Biokomposit Serat Sisal Searah Aliran datangnya plastik terhadap nilai shrinkage menggunakan software Minitab 18 dapat dilihat pada tabel 5.2 dan tabel 5.3.

Tabel 5. 2 Orde kedua shrinkage BSS searah aliran

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0.050593	0.005621	31.23	0.001
Linear	3	0.029100	0.009700	53.89	0.000
Melt Temperature	1	0.018050	0.018050	100.28	0.000
Holding Pressure	1	0.009800	0.009800	54.44	0.001
Injection Pressure	1	0.001250	0.001250	6.94	0.046
Square	3	0.010093	0.003364	18.69	0.004
Melt Temperature*Melt Temperature	1	0.000092	0.000092	0.51	0.506
Holding Pressure*Holding Pressure	1	0.005908	0.005908	32.82	0.002
Injection Pressure*Injection Pressure	1	0.004523	0.004523	25.13	0.004
2-Way Interaction	3	0.011400	0.003800	21.11	0.003
Melt Temperature*Holding Pressure	1	0.004900	0.004900	27.22	0.003
Melt Temperature*Injection Pressure	1	0.000100	0.000100	0.56	0.490
Holding Pressure*Injection Pressure	1	0.006400	0.006400	35.56	0.002
Error	5	0.000900	0.000180		
Lack-of-Fit	3	0.000300	0.000100	0.33	0.808
Pure Error	2	0.000600	0.000300		
Total	14	0.051493			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
0.0134164	98.25%	95.11%

Pada tabel 5.2 menunjukkan output dari Minitab untuk model regresi analisis varians pada respon shrinkage. Dalam menentukan uji signifikansi regresi adanya hubungan linear variabel respon shrinkage terhadap parameter proses menggunakan hipotesa:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0 \text{ setidaknya satu } j$$

Pada tabel *Analysis of Variance (ANOVA)* menggunakan *F-value* dikarenakan mencari varians dimana beberapa sample yang dimiliki dari beberapa populasi dengan sigmanya yang sama. Variasi dari semua variable independennya yaitu parameter proses injeksi *melt temperature*, *holding pressure*, dan *injection pressure* baik itu *linear*, *square* dan *2-way interaction* terhadap variable responnya (*dependent*) shrinkage menggunakan tabel deistribusi F. Pendugaan model orde kedua respon shrinkage dapat diketahui terhadap parameter proses dengan besar nilai yang dapat dijelaskan $R^2 = 98.25\%$. Data output dari ANOVA dapat disimpulkan bahwa model pendugaan orde kedua (square) ini sudah sesuai. Untuk memeriksa signifikan atau tidak model orde kedua, dapat dilihat *p-value* dari *regression* pada tabel 5.2. Nilai *p-value* sebesar 0.001 lebih kecil ($<$) dari nilai α sebesar 5%, hal ini berarti parameter proses tersebut memberikan dampak yang signifikan pada model orde kedua tersebut.

Tabel 5. 3 Estimasi koefisien persamaan model

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	1.25000	0.00775	161.37	0.000
Melt Temperature	0.04750	0.00474	10.01	0.000
Holding Pressure	-0.03500	0.00474	-7.38	0.001
Injection Pressure	-0.01250	0.00474	-2.64	0.046
Melt Temperature*Melt Temperature	0.00500	0.00698	0.72	0.506
Holding Pressure*Holding Pressure	-0.04000	0.00698	-5.73	0.002
Injection Pressure*Injection Pressure	-0.03500	0.00698	-5.01	0.004
Melt Temperature*Holding Pressure	0.03500	0.00671	5.22	0.003
Melt Temperature*Injection Pressure	-0.00500	0.00671	-0.75	0.490
Holding Pressure*Injection Pressure	-0.04000	0.00671	-5.96	0.002

Pada tabel 5.3 menunjukkan pengujian setiap koefisien regresi terhadap model regresi yang dihasilkan, hal tersebut dapat berguna dalam menambahkan variabel ataupun penghapusan satu atau lebih variabel yang sudah ada. Menambahkan variabel ke dalam model orde kedua regresi dapat menyebabkan jumlah

kuadrat (*sum of square*) untuk regresi meningkat dan jumlah kesalahan kuadrat (*error sum of square*) menurun. Penambahan variabel yang tidak berpengaruh ke dalam pendugaan model dapat meningkatkan *mean square error*, sehingga mengurangi kegunaan pendugaan model tersebut. Hipotesis untuk menguji signifikansi dari setiap koefisien regresi individu:

$$H_0: \beta_j = 0$$

$$H_1: \beta_j \neq 0$$

Jika $H_0: \beta_j = 0$ adalah gagal ditolak, maka dapat diindikasikan x_j dapat dihapus dari pendugaan model tersebut.

Pada pendugaan model orde kedua regresi pada tabel 5.3 faktor yang tidak memberikan dampak yang signifikan antara lain faktor kuadrat (*square*) *melt temperature***melt temperature* dan faktor interaksi (*2-way interaction*) *melt temperature***injection pressure*. Nilai *p-value* dari faktor tersebut $\alpha > 0.05$, sehingga faktor-faktor tersebut dapat dihilangkan. Parameter yang tidak memberikan dampak secara signifikan tersebut dapat dihilangkan kemudian dilakukan kembali analisa menggunakan Minitab 18, hasil tersebut ditunjukkan pada tabel 5.4.

Tabel 5. 4 Hasil analisa ANOVA menghilangkan parameter proses yang tidak signifikan

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	1.25308	0.00600	208.82	0.000
Melt Temperature	0.04750	0.00442	10.76	0.000
Holding Pressure	-0.03500	0.00442	-7.92	0.000
Injection Pressure	-0.01250	0.00442	-2.83	0.025
Holding Pressure*Holding Pressure	-0.04038	0.00648	-6.23	0.000
Injection Pressure*Injection Pressure	-0.03538	0.00648	-5.46	0.001
Melt Temperature*Holding Pressure	0.03500	0.00625	5.60	0.001
Holding Pressure*Injection Pressure	-0.04000	0.00625	-6.40	0.000

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
0.0124918	97.88%	95.76%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	0.050401	0.007200	46.14	0.000
Linear	3	0.029100	0.009700	62.16	0.000
Melt Temperature	1	0.018050	0.018050	115.67	0.000
Holding Pressure	1	0.009800	0.009800	62.80	0.000
Injection Pressure	1	0.001250	0.001250	8.01	0.025
Square	2	0.010001	0.005001	32.05	0.000
Holding Pressure*Holding Pressure	1	0.006058	0.006058	38.82	0.000
Injection Pressure*Injection Pressure	1	0.004651	0.004651	29.80	0.001
2-Way Interaction	2	0.011300	0.005650	36.21	0.000
Melt Temperature*Holding Pressure	1	0.004900	0.004900	31.40	0.001
Holding Pressure*Injection Pressure	1	0.006400	0.006400	41.01	0.000
Error	7	0.001092	0.000156		
Lack-of-Fit	5	0.000492	0.000098	0.33	0.864
Pure Error	2	0.000600	0.000300		
Total	14	0.051493			

Untuk membuktikan hasil pada tabel 5.4 dilakukan pengujian sebagai berikut:

1. Pengujian kesesuaian Model

Untuk mengetahui kesesuaian model diatas, maka dilakukan pengujian diantaranya:

A. Uji R^2

Tabel 5.4 menunjukkan bahwa sebanyak 97.88% variasi respon dapat dijelaskan dengan pendugaan ini.

B. Uji *Lack Of Fit*

Dari uji *lack of fit* terhadap model diperoleh *p-value* sebesar 86.4% atau lebih besar dibandingkan derajat signifikansi $\alpha = 5\%$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa model regresi tersebut telah sesuai.

2. Pengujian Koefisien Regresi

A. Secara Individu

Pada pengujian dengan $\alpha < 0.05$, parameter proses injection pada tabel 5.4 memiliki *p-value* < 0.05 . hal tersebut

merepresentasikan parameter proses tersebut mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap respon shrinkage.

B. Secara Serentak

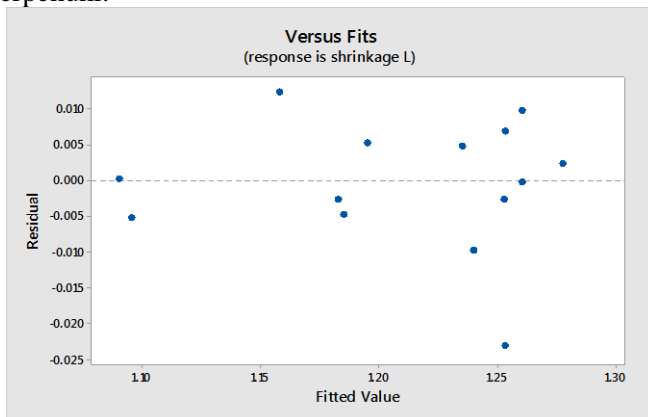
Berdasarkan data Tabel 5.4 menunjukkan $F_{hitung} = 46.14$, sedangkan $F_{tabel} = F_{(7;14;0.05)} = 3.53$. Nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ dapat disimpulkan bahwa parameter proses tersebut memberikan dampak yang signifikan terhadap model orde kedua regresi.

3. Pengujian Asumsi Residual

Untuk memeriksa kecukupan model tidak hanya melakukan pengujian *lack of fit*, terdapat salah satu pengujian yaitu analisis residual. Analisis residual bersifat iudentik, independen, dan berdistribusi normal denag mean nol pada variasi tertentu. Beberapa pengujian yang dilakukan menggunakan analisis residual:

A. Keidentikan

Pada Gambar 5.2 di bawah ini, dapat dilihat bahwa plot antara residual dengan *fitted value* terlihat menyebarsecara acak disekitar harga noldan tidak membentuk pola tertentu. Hal tersebut menunjukkan varians residual identik (homogen) terpenuhi.



Gambar 5. 1 Grafik residual vs fitted value shrinkage BSS searah aliran

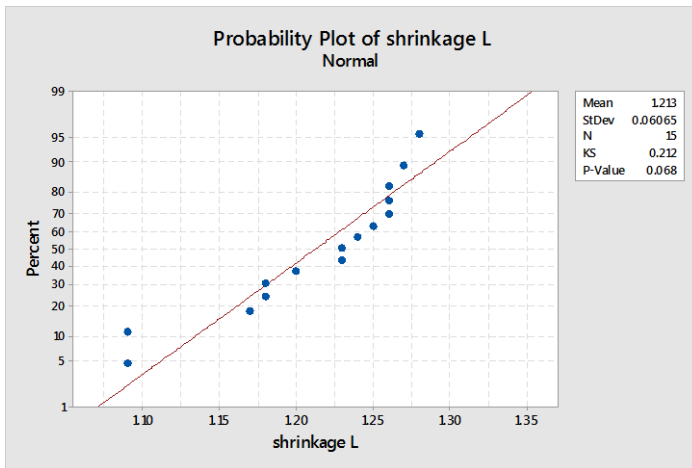
B. Kenormalan

Pengujian asumsi kenormalan residual dilakukan dengan uji Kolmogorov-smirnov. Hipotesis yang digunakan untuk uji kenormalan:

H_0 : Residual model regresi berdistribusi normal.

H_1 : Residual model regresi tidak berdistribusi normal.

Hasil pengujian dengan derajat signifikansi $\alpha = 5\%$ ditunjukkan pada gambar 5.2. Nilai statistik Kolmogorov-Smirnov (KS_{hitung}) adalah 0.212, sementara nilai Kolmogorov-Smirnov dari tabel (KS_{tabel}) untuk $\alpha = 0.05$ dan jumlah pengamatan 15 adalah 0.34. Karena $KS_{hitung} < KS_{tabel}$ maka H_0 diterima, artinya residual dari model pendugaan tersebut telah berdistribusi normal.

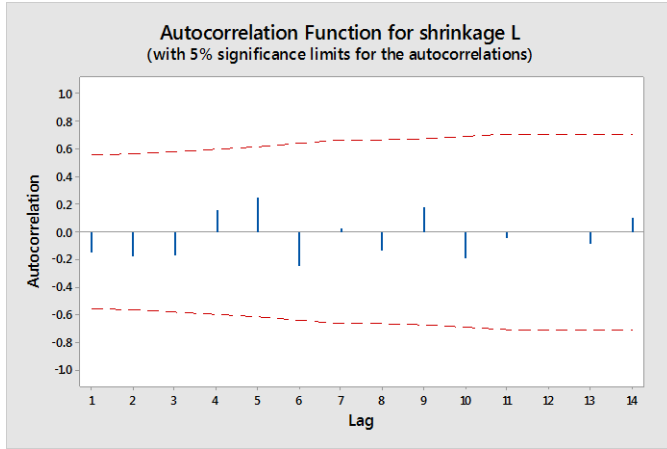


Gambar 5. 2 Grafik normal probability shrinkage

C. Independensi

Pengamatan pada penelitian ini telah dilakukan secara independent dan tidak terdapat korelasi antar pengamatan. Hal tersebut dibuktikan dengan grafik *plot AutoCorrelation*

Function (ACF) pada gambar 5.3. grafik tersebut menunjukkan bahwa semua korelasi masih berada didalam interval.



Gambar 5. 3 Grafik *AutoCorrelation Function for Shrinkage BSS* searah aliran

Dengan beberapa pengujian yang telah dilakukan diatas diketahui bahwa model yang memenuhi hubungan antara parameter proses injection molding yaitu *melt temperature*, *holding pressure*, *injection pressure* terhadap respon shrinkage pada material biokomposit serat sisal dapat dirumuskan dengan persamaan empiris berikut ini:

$$\begin{aligned}\hat{Y}_{shrinkage\ BSS} = & 1.25308 + 0.0475x_1 - 0.035x_2 - 0.0125x_3 \\ & - 0.04038x_2^2 - 0.03538x_3^2 + 0.035x_1x_2 \\ & - 0.04x_2x_3.\end{aligned}$$

dengan \hat{Y} : Nilai taksiran model untuk respon shrinkage

x_1 : Parameter proses *melt temperature*

x_2 : Parameter proses *holding pressure*

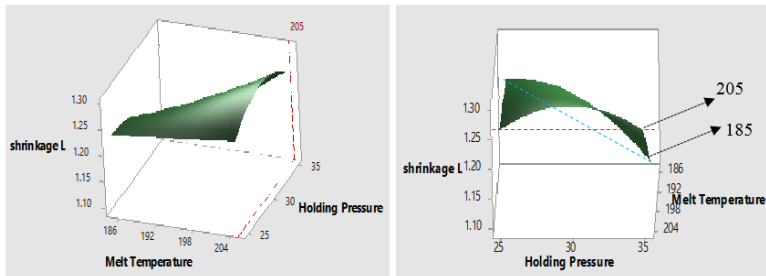
x_3 : Parameter proses *injection pressure*

5.2 Grafik Plot *surface model* Orde Kedua Shrinkage

Dari persamaan yang didapatkan dengan menggunakan Minitab 18, dapat diprediksi respon shrinkage di tiap parameter proses yang akan digunakan. Respon optimum dapat diprediksi secara visual dengan mengamati grafik plot permukaan model yang telah dibuat. Titik optimum respon dapat berupa lembah ataupun puncak, namun dapat berupa 2 buah puncak yang menyerupai bentuk pelana. Titik optimum respon dapat ditentukan berupa nilai respon semakin besar semakin baik, semakin kecil semakin baik ataupun normal. Dalam menentukan nilai respon shrinkage digunakan semakin kecil prosentase nilai tersebut maka semakin baik.

Respon prosentase nilai shrinkage terkecil dapat dilihat pada *surface plot* yang berada di dasar lembah. Prosentase tersebut tidak mungkin berada di puncak ataupun punggung dari grafik *surface plot*. Gambar 5.4 sampai gambar 5.6 merupakan gambar *surface plot* respon shrinkage terhadap parameter proses diantaranya *melt temperature*, *holding pressure*, *injection pressure*.

Grafik *surface plot* material BSS ditunjukkan pada gambar 5.4 dengan Sumbu x parameter proses *melting temperature* dan sumbu y parameter proses *holding pressure* terhadap respon shrinkage. Gambar 5.4 berupa parameter proses injeksi molding *melt temperature* dan *holding pressure* terhadap respon shrinkage pada material biokomposit serat sisal (BSS). *Surface plot* tersebut berbentuk pelana landai dengan parameter proses *injection pressure* pada 55 bar, sedangkan grafik *contour plot* ditunjukkan pada lampiran 3. Titik prosentase yang menunjukkan nilai shrinkage terkecil berada pada parameter proses *melt temperature* sebesar 185 °C dan *holding pressure* sebesar 35 bar.

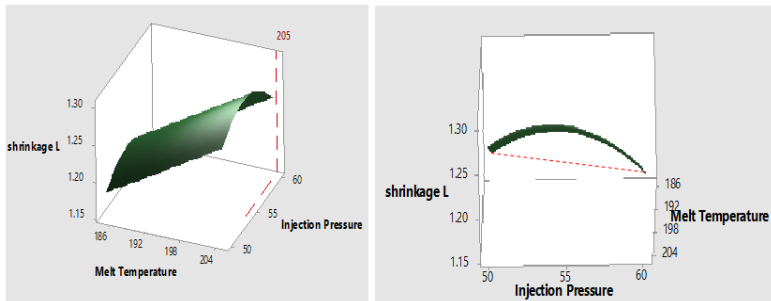


Gambar 5. 4 [kiri] Grafik surface plot shrinkage vs holding pressure, melt temperature material BSS searah aliran, [kanan] Surface plot pada potongan *melt temperature* 205 °C

Gambar 5.4 [kanan] menjelaskan potongan gambar pada *melt temperature* sebesar 205 °C, potongan tersebut kemudian dilihat pada sisi *holding pressure*. Gambar tersebut membentuk kurva parabolic dimana nilai shrinkage terendah pada nilai sebesar 35 bar berbeda tipis dengan nilai 25 bar. Fenomena tersebut tidak menjelaskan antara hubungan parameter proses *holding pressure* terhadap respon shrinkage, dimana semakin besar *holding pressure* maka nilai prosentase shrinkage yang dihasilkan semakin kecil. Hal tersebut dapat terjadi *gate* belum membeku secara sempurna pada temperature yang lebih tinggi, berbanding terbalik dengan temperatur 185 °C yang mengalami penurunan secara signifikan dengan bertambahnya nilai *holding pressure*. Fenemona yang terjadi pada temperatur 185 °C diindikasikan *gate* telah membeku secara sempurna (Fischer, 2013).

Grafik *surface plot* yang ditunjukkan pada gambar 5.5 dengan Sumbu x parameter proses *melting temperature* dan sumbu y parameter proses *injection pressure* terhadap respon shrinkage. Gambar 5.5 berupa parameter proses injeksi molding *melt temperature* dan *injection pressure* terhadap respon shrinkage pada material biokomposit serat sisal (BSS). *Surface plot* tersebut berbentuk lereng dengan parameter proses *holding pressure* sebesar 30 bar, sedangkan grafik *contour plot* ditunjukkan pada

lampiran 3. Titik prosentase yang menunjukkan nilai shrinkage terkecil berada pada parameter proses *melt temperature* sebesar 185 °C dan *injection pressure* sebesar 60 bar.

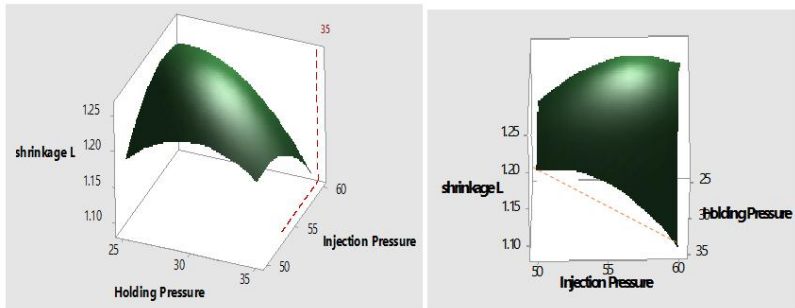


Gambar 5. 5 [kiri] Grafik surface plot shrinkage vs injection pressure, melt temperature material BSS searah aliran, [kanan] Surface plot pada potongan *melt temperature* 205 °C

Gambar 5.5 [kanan] menjelaskan potongan gambar pada *melt temperature* sebesar 205 °C, potongan tersebut kemudian dilihat pada sisi *injection pressure*. Gambar tersebut membentuk kurva yang memiliki trendline menurun dimana nilai shrinkage terendah pada nilai sebesar 60 bar. Fenomena tersebut dapat menjelaskan antara hubungan parameter proses *injection pressure* terhadap respon shrinkage, dimana semakin besar *injection pressure* maka nilai prosentase shrinkage yang dihasilkan semakin kecil. Terdapat bagian yang tidak memiliki korelasi dimana nilai prosentase shrinkage pada 55 bar lebih besar dibandingkan dengan 50 bar. Fenomena tersebut diakibatkan faktor gangguan (*noise*) dari parameter proses injeksi yang dijaga konstan.

Grafik surface plot yang ditunjukkan pada gambar 5.6 dengan Sumbu x parameter proses *injection pressure* dan sumbu y parameter proses *holding pressure* terhadap respon shrinkage. gambar 5.6 berupa parameter proses injeksi molding *injection pressure* dan *holding pressure* terhadap respon shrinkage pada material biokomposit serat sisal (BSS). *Surface plot* tersebut

berbentuk bukit dengan parameter proses *melt temperature* sebesar 195°C , sedangkan grafik *contour plot* ditunjukkan pada lampiran 3. Titik prosentase yang menunjukkan nilai shrinkage terkecil berada pada parameter proses *injection pressure* sebesar 60 bar dan *holding pressure* sebesar 35 bar.



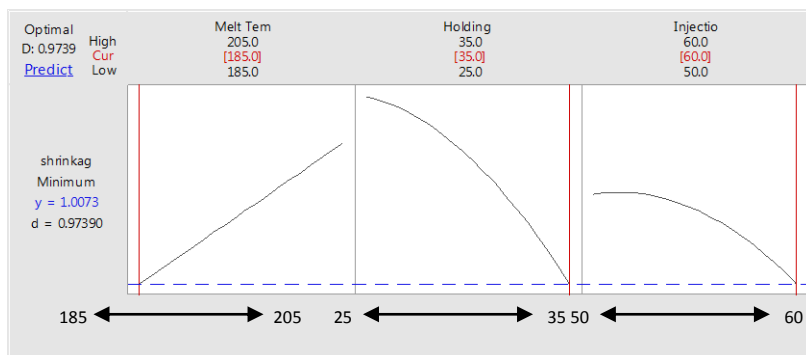
Gambar 5. 6 [kiri] Grafik surface plot shrinkage vs injection pressure, holding pressure material BSS searah aliran [kanan] Surface plot pada potongan *holding pressure* 35 bar.

Gambar 5.6 [kanan] menjelaskan potongan gambar pada *holding pressure* sebesar 35 bar, potongan tersebut kemudian dilihat pada sisi *injection pressure*. Pada gambar tersebut membentuk memiliki trendline menurun dimana nilai shrinkage terendah pada nilai sebesar 60 bar pada sisi *injection pressure*. Fenomena tersebut dapat menjelaskan antara hubungan parameter proses *injection pressure* terhadap respon shrinkage, dimana semakin besar *injection pressure* maka nilai prosentase shrinkage yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini dapat terjadi untuk menahan shrinkage yang terjadi dikarenakan sifat dari kompresibilitas plastik dibutuhkan nilai *pressure* yang tinggi. *Injection pressure* yang terlalu tinggi juga tidak baik dikarenakan dapat menyebabkan *flash* pada spesimen/produk. Penentuan nilai *injection pressure* dapat dipengaruhi dari dimensi suatu spesimen/produk dan besarnya *clamping force* yang diberikan. (Fischer, 2013).

5.3 Penentuan Optimasi Parameter Proses Dan Pembahasan

Kombinasi level-level dari parameter proses untuk menghasilkan respon yang optimal menggunakan metode *response surface* dengan menggunakan fungsi *desirability*. Nilai *desirability* merupakan nilai fungsi optimasi yang menunjukkan kemampuan program untuk memenuhi keinginan berdasarkan kriteria yang ditetapkan pada produk akhir. Kisaran nilainya dari 0 sampai 1,0. Nilai *desirability* yang semakin mendekati nilai 1,0 menunjukkan kemampuan program untuk menghasilkan produk yang dikehendaki semakin sempurna. Tujuan optimasi bukan untuk memperoleh nilai *desirability* 1,0, namun untuk mencari kondisi terbaik yang mempertemukan semua fungsi tujuan.

Pendekatan fungsi *desirability* digunakan pada parameter proses *melt temperature* ($^{\circ}\text{C}$), *holding pressure* (bar), *injection pressure* (bar) agar dihasilkan respon $\hat{Y}_{\text{shrinkage}}$ (%). Fungsi *desirability* menggunakan *The smaller is better* dengan material Biokomposit Serat Sisal (BSS) *Lower* = 1.09%, *Upper* = 1.28%, *Weight* = 1. Model matematika diolah menggunakan software Minitab 18, sehingga diperoleh grafik kombinasi parameter yang menghasilkan respon shrinkage secara optimal.



Gambar 5. 7 Grafik kombinasi parameter proses yang menghasilkan respon optimal material Biokomposit Serat Sisal Searah Aliran

Dari analisa pada gambar 5.7 didapatkan kombinasi *settings* parameter proses untuk material biokomposit serat sisal searah aliran. Parameter proses untuk mendapatkan nilai prosentase optimum yaitu, untuk *melt temperature* 185 °C, *holding pressure* 35 bar, dan *injection pressure* 60 bar. Kombinasi ini diprediksi akan mendapatkan respon shrinkage sebesar 1.0073% dengan nilai *desirability* sebesar 1.00.

Kombinasi parameter proses tiap material tersebut kemudian dijadikan acuan pada mesin injeksi molding HAITIAN MA 900/260e. Parameter proses acuan tersebut akan dilakukan pengujian konfirmasi untuk mendapatkan nilai prosentase respon shrinkage yang optimum.

5.3.1 Analisa Parameter Proses *Melting Temperature* Terhadap Shrinkage

Melting temperature adalah temperature leleh material plastik yang akan diinjeksikan kedalam mold. Parameter proses temperature dapat mempengaruhi secara signifikan terhadap proses injeksi molding. Pada gambar 5.7 grafik yang ditunjukkan *melt temperature* dengan besar nilai prosentase shrinkage, dimana semakin besar nilai temperatur tersebut semakin tinggi prosentase nilai shrinkage yang terjadi pada material BSS. Fenomena pada grafik tersebut menunjukkan hubungan antara parameter proses *melting temperature* dan respon shrinkage bersifat linear. Grafik tersebut telah sesuai dengan penjelasan dari Joe Shoemaker tentang efek parameter proses injeksi dengan shrinkage pada subbab 2.3, dimana semakin tinggi temperature leleh material plastik yang akan diinjeksi nilai shrinkage yang dihasilkan semakin lebih besar.

Hubungan temperature injeksi yang rendah menghasilkan nilai prosentase shrinkage rendah dan *density* yang semakin besar, hal ini mengakibatkan ketika proses pendinginan di dalam *cavity* bagian terluar dari spesimen akan mengalami pendinginan terlebih dahulu. Pendinginan bagian terluar spesimen akan menuju ke bagian pusat yang memiliki temperature lebih tinggi. Perambatan penyusutan terjadi mengalami perlambatan yang disebabkan

besarnya nilai *density* material tersebut pada temperature yang redah. Fenomena tersebut mengakibatkan nilai prosentase shrinkage yang dihasilkan kecil.

5.3.2 Analisa Parameter Proses *Holding Pressure* Terhadap Shrinkage

Holding pressure berfungsi untuk menahan tekanan selama proses pendinginan plastik untuk menjaga geometri spesimen sampai plastik membeku. *Holding pressure* menjaga tekanan secara uniform di dalam *cavity* dan dapat mengendalikan shrinkage yang terjadi. Parameter proses *holding pressure* memberikan dampak terhadap material biokomposit serat sisal. Hal tersebut ditunjukkan pada gambar 5.7. Grafik tersebut telah sesuai dengan penjelasan dari Joe Shoemaker tentang efek parameter proses injeksi dengan shrinkage pada subbab 2.3, dimana semakin tinggi *holding pressure* material plastik yang akan diinjeksi nilai shrinkage yang dihasilkan semakin lebih kecil.

Grafik pada gambar 5.7, dimana semakin tinggi tekanan diberikan maka dihasilkan prosentase nilai shrinkage yang kecil. Grafik *holding pressure* memiliki trendline yang lebih berpengaruh dibandingkan parameter proses *melting temperature* dan *injection pressure*. Hal tersebut dikarenakan pada saat proses pembekuan didalam *cavity*, sifat kompresibilitas plastik mengakibatkan nilai shrinkage yang tinggi. Fenomena tersebut dapat dicegah dengan memberikan *holding pressure* yang tinggi sehingga meminimalisir sifat kompresibilitas plastik. Tekanan yang uniform dan tinggi dapat mengontrol dan menghasilkan nilai prosentase shrinkage yang rendah. Hal tersebut dapat berguna untuk menentukan toleransi geometri produk/spesimen yang akan diproduksi.

5.3.3 Analisa Parameter Proses *Injection Pressure* Terhadap Shrinkage

Injection pressure merupakan tekanan yang digunakan untuk menginjeksikan material plastik ke dalam *cavity* agar sesuai dengan geometry produk/spesimen. Grafik pada gambar 5.7,

dimana semakin tinggi tekanan diberikan maka dihasilkan prosentase nilai shrinkage yang kecil. Parameter proses *injection pressure* mempunyai trendline pengaruh yang lebih kecil dibandingkan dengan parameter proses *melting temperature* dan *holding pressure*.

Tekanan injeksi yang besar dapat mengontrol dimensi suatu produk/spesimen. Plastik yang memiliki sifat kompresibilitas diperlukan tekanan injeksi yang besar ketika proses pembentukan geometrinya. Tekanan injeksi tersebut nilainya berbeda tergantung dari geometri yang akan dicetakan. Tekanan injeksi yang digunakan terlalu besar dapat mengakibatkan adanya cacat produk yaitu flash, oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan dan optimasi agar tekanan injeksi yang dibutuhkan sesuai dengan geometri dan meminimalisir prosentase nilai shrinkage yang terjadi.

5.4 Percobaan Konfirmasi

Percobaan konfirmasi dilakukan dengan melakukan pengambilan data kembali pada mesin injeksi molding HAITIAN MA 900/260e. Parameter proses yang digunakan berdasarkan grafik optimasi pada material BSS (gambar 5.7). Hasil spesimen tersebut kemudian dilakukan pengukuran kembali untuk mengetahui nilai prosentase shrinkage tiap material



Gambar 5. 8 pengukuran uji konfirmasi material biokomposit serat sisal searah aliran

Pada gambar 5.8 merupakan salah satu uji konfirmasi pengukuran prosentase nilai shrinkage pada percobaan ke-1 material BSS searah aliran plastik replikasi ke-1 di titik ke-4 (lampiran ke-8). Percobaan konfirmasi pada nilai optimum dilakukan sebanyak 3 kali percobaan dan replikasi sebanyak 3 kali. Hasil dari percobaan konfirmasi ditunjukkan pada tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Hasil percobaan konfirmasi untuk nilai optimum

Materi al	Percoba an Ke-	Parameter Proses			Respon Shrinka ge (%)
		<i>Melt Temperatu re (°C)</i>	<i>Holdin g Pressu re (bar)</i>	<i>Injectio n Pressu re (bar)</i>	
BSS L	1	185	35	60	1.03
	2	185	35	60	1.06
	3	185	35	60	1.06

5.5 Perbandingan Hasil Optimasi Dengan Kondisi Awal

Hasil optimasi pada percobaan konfirmasi dengan menggunakan analisa statistik metode *response surface* diperbandingkan dengan kondisi awal yang menghasilkan nilai shrinkage minimum. Parameter proses injeksi yang digunakan untuk memperoleh nilai optimum *melting temperature*, *holding pressure* dan *injection pressure* dengan menjaga parameter proses yang lain pada kondisi yang sama. Perbandingan hasil optimasi ditunjukkan pada tabel 5.6.

Tabel 5. 6 Perbandingan hasil optimasi dengan kondisi awal

Material		Parameter proses			Respon
		T _{melt} (°C)	P _{hold} (bar)	P _{injection} (bar)	Shrinkage (%)
BSS L	Kondisi Awal	195	35	60	1.09
	Analisa Statistik	185	35	60	1.007
	Kondisi Oprimasi	185	35	60	1.05

Nilai prosentase shrinkage untuk material biokomposit serat sisal pada kondisi optimasi sebesar 1.05 % lebih kecil dibandingkan prosentase shrinkage yang dihasilkan kondisi awal sebesar 1.09 %. Penurunan prosentase nilai shrinkage tersebut sangat signifikan sebesar 3.67 % dari harga awal. Nilai prosentase tersebut masih lebih besar dibandingkan nilai optimasi berdasarkan analisa statistic yaitu sebesar 1.0073 %. Perbedaan antara analisa statistic dengan kondisi optimasi dapat disebabkan adanya gangguan parameter proses injeksi selain parameter proses yang dikontrol tetapi tidak terlalu signifikan.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil studi eksperimen dan analisa yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Parameter proses injeksi molding *melt temperature*, *holding pressure*, dan *injection pressure* mempunyai pengaruh yang sangat signifikan terhadap respon pada material biokomposit serat sisal (BSS) dikarenakan nilai *p-value* sebesar $0.001 < \alpha$.
2. Pengaruh parameter proses *melt temperature* terhadap respon shrinkage dapat disebabkan *density* dan *Coefficient of Thermal Expansion*, sedangkan pada parameter proses *holding pressure* dan *injection pressure* dapat disebabkan sifat kompresibilitas material biokomposit serat sisal.
3. Parameter proses injeksi molding *melt temperature* (x_1), *holding pressure* (x_2), dan *injection pressure* (x_3) memiliki persamaan regresi berdasarkan anilisa *response surface* berikut ini:

$$\begin{aligned}\hat{Y}_{shrinkage\ BSS} = & 1.385 + 0.035x_1 - 0.04188x_2 \\ & - 0.01438x_3 - 0.03375x_2^2 - 0.02375x_3^2 \\ & + 0.0375x_1x_2 - 0.03125x_2x_3.\end{aligned}$$

4. Berdasarkan bantuan software MINITAB 18 parameter proses untuk mendapatkan nilai minimal shrinkage pada material Biokomposit serat Sisal (BSS) *melt temperature* 185 °C, *holding pressure* 35 bar, *injection pressure* 60 bar. Percobaan konfirmasi dihasilkan nilai shrinkage sebesar 1.19 %

6.2 Saran

Hasil studi eksperimen terdapat saran-saran yang akan berguna bagi penelitian selanjutnya diantaranya:

1. Dibutuhkannya alat ukur yang memiliki ketelitian sebesar 0.001 mm yang bertujuan untuk meminimalisir penyimpangan yang terjadi.

2. Untuk penelitian selanjutnya diperlukan uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk mengetahui susunan batas butir material.
3. Perlu dipastikan kembali nilai *holding time* pada temperatur hingga *gate* membeku.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif. (2017). *Studi Eksperimental Pengaruh Komposisi Pelet Biokomposit (Polypropylene, Serat Sisal dan Maleic Anhydride Polypropylene) Terhadap Sifat Thermal Dan Struktur Potongan Melintang Untuk Mencari Material Alternatif Produk Plastik*. Surabaya.
- ASTM International. (2001). ASTM-D955. *Standard Test Method of Measuring Shrinkage form Mold Dimension Of Thermoplastics*.
- Budiarto. (2001). *Perancangan Peralatan Pencetak-Mould Lanjut*. Bandung: Teknik Perancangan Manufaktur POLMAN Bandung.
- Fischer, J. M. (2013). *Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage*. Great Britain: Elsevier.
- Georg Menges, W. M. (1999). *How to Make Injection Molds*. Munich: Hanser Publishers.
- International, A. (2002). *Standard Practice or Injection Molding Test Specimen Of Thermoplastic Molding and Extrusion Materials*. D3641-02.
- Jamaludin, A. (2007, Februari 20). Retrieved from anifmaterial.blogspot.com
- Kazmer, D. O. (2007). *Injection Mold Design Engineering*. New York: Hanser Publisher.
- Montgomery, D. C. (2001). *Design and Analysis of Experiments Fifth Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Mutafawwiqin. (2016). *Studi Eksperimental Variasi Komposisi Pelet Biokomposit (Polypropylene, Sekam Padi Dan Maleic Anhydride Pp) Terhadap Sifat Thermal & Struktur Permukaan Material Alternatif Produk Plastik*. Surabaya.
- O. Faruk, B. J. (2016). *Composite. Sisal-Glass Fiber Hybrid Biocomposite: Optimization of Injection molding Parameters Using Taguchi Method for Reducing Shrinkage* , 152-159.

- Ria Faulina, S. A. (2011). *Response Surface Methodology (RSM) Dan Aplikasinya*. Surabaya: Jurusan Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Shoemaker, J. (2006). *Moldflow Design Guide*. Massachusetts: Moldflow Corporation.
- Soejanto, I. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Tubagus. (2018). *SIMULASI DAN STUDI EKSPERIMENTAL UNTUK MENGETAHUI SIFAT PENYUSUTAN (SHRINKAGE) MATERIAL BIOKOMPOSIT SESUAI STANDAR ASTM D955 – 08*. Surabaya.
- Zhou, H. (2013). *Computer Modeling For Injection Molding Simulation, Optimization, and Control*. New Jersey: John Wiley Sons, Inc.

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 18 Mei 1994 di Mojokerto, Provinsi Jawa Timur. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN 001 Balikpapan Utara SMPN 3 Darul Ulum Peterongan Jombang, dan SMA Darul Ulum 2 Jombang. Penulis menempuh pendidikan dari SMP hingga SMA berada pada lingkungan pondok pesantren tepatnya di Pondok Pesantren Darul Ulum Peterongan Jombang. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Politeknik Negeri Malang (POLINEMA) Jurusan Diploma-3 (D3) Teknik Mesin pada tahun 2012 hingga tahun 2015 dengan judul Tugas Akhir *“Design Blowing System Of Plastic Molding On Handle Sponge For Kitechen Set Washer With Capacity of 60 Products/Hour”*. Setelah lulus dari Program D3, Kemudian pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan program Lintas Jalur S1 di Teknik Mesin FTI-ITS bidang studi Manufaktur pada Laboratorium Perancangan dan Pengembangan Produk. Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan perkuliahan, praktikum dan penelitian. Aktifitas lain selain kuliah penulis aktif pada organisasi di luar lingkup kampus, organisasi anatara lain bakti social, pertemuan alumni santri. Selain itu penulis hobi travelling, futsal, badminton, dan hiking

E-mail : muhammadakbar.018@gmail.com

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengukuran Biokomposit Sisal (BSS) Searah Aliran

Percobaan Ke-	Replikasi-1 (mm)				Replikasi-2 (mm)				Replikasi-3 (mm)			
	L1	L2	L3	L4	L1	L2	L3	L4	L1	L2	L3	L4
1	59.25	59.15	59.16	59.26	59.26	59.21	59.21	59.25	59.27	59.16	59.15	59.26
2	59.19	59.13	59.15	59.2	59.21	59.13	59.14	59.23	59.22	59.08	59.09	59.21
3	59.26	59.18	59.2	59.24	59.28	59.14	59.17	59.27	59.27	59.18	59.18	59.24
4	59.22	59.08	59.11	59.21	59.22	59.12	59.11	59.21	59.21	59.11	59.13	59.21
5	59.25	59.18	59.16	59.23	59.22	59.11	59.12	59.22	59.24	59.14	59.13	59.22
6	59.25	59.15	59.14	59.22	59.24	59.19	59.18	59.23	59.25	59.17	59.16	59.21
7	59.25	59.16	59.17	59.23	59.25	59.13	59.13	59.23	59.26	59.14	59.15	59.24
8	59.22	59.12	59.09	59.2	59.21	59.16	59.12	59.2	59.17	59.08	59.08	59.22
9	59.21	59.05	59.09	59.2	59.2	59.12	59.14	59.2	59.19	59.05	59.07	59.19
10	59.31	59.25	59.24	59.28	59.31	59.21	59.23	59.33	59.31	59.23	59.21	59.29
11	59.22	59.11	59.08	59.23	59.26	59.11	59.15	59.25	59.21	59.1	59.08	59.23
12	59.27	59.17	59.19	59.24	59.23	59.12	59.17	59.25	59.27	59.18	59.19	59.24
13	59.2	59.12	59.1	59.19	59.23	59.14	59.11	59.17	59.2	59.12	59.07	59.19
14	59.29	59.19	59.19	59.29	59.3	59.2	59.2	59.27	59.27	59.19	59.21	59.29
15	59.31	59.24	59.22	59.29	59.29	59.22	59.23	59.3	59.31	59.23	59.26	59.29

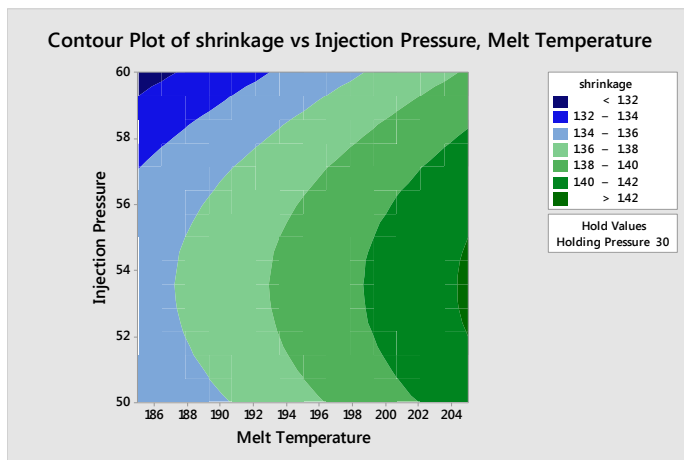
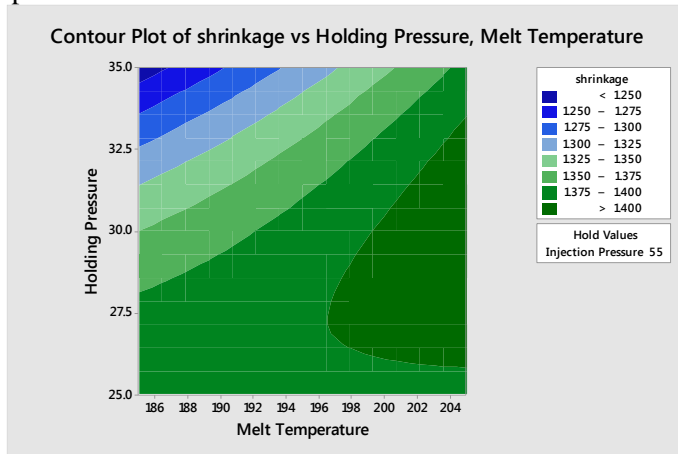
Percobaan Ke-	Replikasi-4 (mm)				Replikasi-5 (mm)				Replikasi-6 (mm)			
	L1	L2	L3	L4	L1	L2	L3	L4	L1	L2	L3	L4
1	59.27	59.17	59.21	59.26	59.25	59.12	59.14	59.27	59.28	59.17	59.21	59.26
2	59.23	59.14	59.16	59.22	59.21	59.08	59.15	59.18	59.22	59.09	59.14	59.22
3	59.27	59.17	59.18	59.28	59.28	59.2	59.18	59.25	59.27	59.15	59.18	59.27
4	59.21	59.12	59.11	59.21	59.21	59.08	59.11	59.23	59.23	59.14	59.09	59.21
5	59.22	59.13	59.12	59.22	59.24	59.14	59.16	59.22	59.24	59.13	59.08	59.21
6	59.26	59.17	59.17	59.25	59.24	59.18	59.15	59.24	59.26	59.16	59.16	59.26
7	59.26	59.12	59.13	59.24	59.26	59.16	59.13	59.24	59.26	59.14	59.1	59.21
8	59.23	59.15	59.16	59.22	59.21	59.09	59.15	59.22	59.23	59.17	59.17	59.21
9	59.2	59.11	59.13	59.19	59.19	59.05	59.07	59.21	59.21	59.12	59.1	59.17
10	59.31	59.21	59.22	59.31	59.32	59.23	59.2	59.28	59.3	59.22	59.25	59.3
11	59.24	59.13	59.14	59.22	59.21	59.11	59.09	59.23	59.25	59.18	59.16	59.23
12	59.26	59.11	59.1	59.24	59.28	59.19	59.19	59.23	59.26	59.1	59.14	59.24
13	59.22	59.12	59.12	59.18	59.16	59.04	59.09	59.18	59.21	59.17	59.09	59.2
14	59.29	59.19	59.16	59.27	59.3	59.17	59.19	59.29	59.27	59.18	59.21	59.27
15	59.32	59.2	59.24	59.32	59.32	59.25	59.27	59.29	59.29	59.21	59.22	59.31

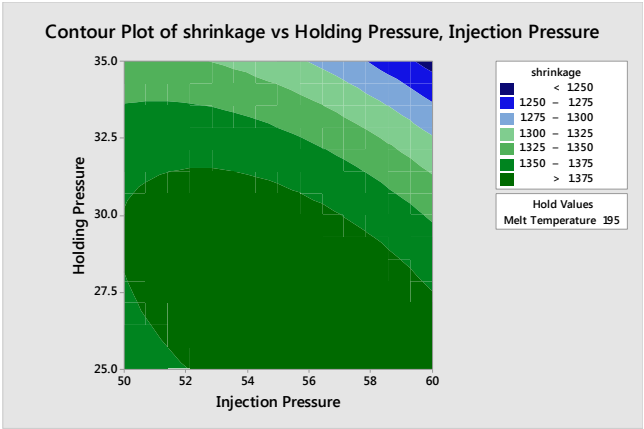
Lampiran 2. Hasil Pengukuran Biokomposit Sisal (BSS) Tegak Lurus Aliran

Percobaan Ke-	Replikasi-1 (mm)				Replikasi-2 (mm)				Replikasi-3 (mm)			
	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4
1	59.12	58.94	58.95	59.08	59.1	59.02	59.03	59.07	59.11	58.94	58.94	59.07
2	59.12	58.91	58.89	59.11	59.13	58.94	58.94	59.09	59.11	58.91	58.92	59.1
3	59.13	59.04	58.98	59.09	59.09	58.99	58.97	59.04	59.13	58.96	58.96	59.11
4	59.11	58.95	58.96	59.1	59.06	59	58.95	59.01	59.09	58.92	58.95	59.08
5	59.11	58.95	58.95	59.09	59.05	58.95	58.95	59.03	59.1	58.91	58.93	59.08
6	59.16	58.97	59.05	59.14	59.08	58.95	58.99	59.11	59.14	59.02	58.98	59.18
7	59.06	58.94	58.95	59.03	59.1	58.9	58.9	59.09	59.06	58.98	59	59.03
8	59.1	58.98	58.99	59.08	59.09	58.88	58.9	59.08	59.1	58.94	58.96	59.09
9	59.09	58.98	58.92	59.09	59.11	58.99	58.95	59.1	59.1	58.95	58.92	59.08
10	59.19	59.02	59.01	59.13	59.12	59.02	59.08	59.08	59.18	59.03	59.03	59.15
11	59.09	58.87	58.9	59.06	59.05	58.9	58.9	59	59.13	58.81	58.87	59.06
12	59.05	58.97	58.97	59.13	59.13	58.93	58.93	59.11	59.08	58.93	58.95	59.05
13	59.06	58.81	58.91	59.07	59.03	58.93	58.97	59.02	59.07	58.85	58.89	59.06
14	59.13	58.91	58.9	59.08	59.08	58.92	58.91	59.01	59.13	58.92	58.93	59.08
15	59.14	59.07	59.06	59.12	59.16	59.03	59.05	59.13	59.14	59.05	59.08	59.11

Percobaan Ke-	Replikasi-4 (mm)				Replikasi-5 (mm)				Replikasi-6 (mm)			
	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4
1	59.1	59.02	59	59.06	59.12	58.93	58.94	59.09	59.11	59.01	59.02	59.07
2	59.12	58.96	58.98	59.11	59.12	58.9	58.97	59.1	59.13	58.96	58.95	59.09
3	59.08	58.96	58.99	59.02	59.14	58.95	58.94	59.1	59.09	58.96	58.95	59.04
4	59.04	58.96	58.9	59.03	59.11	58.96	58.9	59.07	59.05	58.95	58.93	59.03
5	59.06	58.96	58.93	59.02	59.13	58.94	58.9	59.08	59.05	58.96	58.93	59.03
6	59.06	58.94	58.97	59.06	59.16	58.98	59.01	59.15	59.07	58.98	58.92	59.07
7	59.12	58.91	58.88	59.09	59.1	59	58.93	59.03	59.06	58.91	58.88	59.09
8	59.09	58.91	58.91	59.08	59.1	58.96	58.94	59.11	59.12	58.88	58.87	59.06
9	59.1	58.96	58.95	59.09	59.09	58.91	58.92	59.07	59.09	58.96	58.95	59.09
10	59.12	59.06	59.02	59.07	59.19	59.04	59.03	59.13	59.13	59.04	59.01	59.08
11	59.06	58.92	58.89	59.02	59.1	58.9	58.94	59.05	59.06	58.93	58.91	59
12	59.12	58.9	58.9	59.1	59.09	58.91	58.95	59.11	59.12	58.87	58.94	59.11
13	59.03	58.93	58.91	59.02	59.07	58.86	58.91	59.07	59.03	58.92	58.91	59.02
14	59.07	58.94	58.91	59.02	59.14	58.92	58.9	59.06	59.08	58.91	58.87	59.02
15	59.16	59.03	59.06	59.14	59.13	59.03	59.06	59.11	59.18	59.03	59	59.13

Lampiran 3. Contour Plot Material BSS





Lampiran 4. Uji Konfirmasi Material Biokomposit serat sisal Searah Aliran

Percobaan	Replikasi-1 (mm)				Replikasi-2 (mm)				Replikasi-3 (mm)			
Ke-	L1	L2	L3	L4	L1	L2	L3	L4	L1	L2	L3	L4
1	59.31	59.2	59.21	59.32	59.32	59.22	59.22	59.3	59.31	59.2	59.2	59.33
2	59.3	59.18	59.2	59.33	59.24	59.21	59.22	59.31	59.31	59.19	59.2	59.31
3	59.33	59.21	59.21	59.31	59.32	59.21	59.2	59.31	59.31	59.2	59.21	59.32

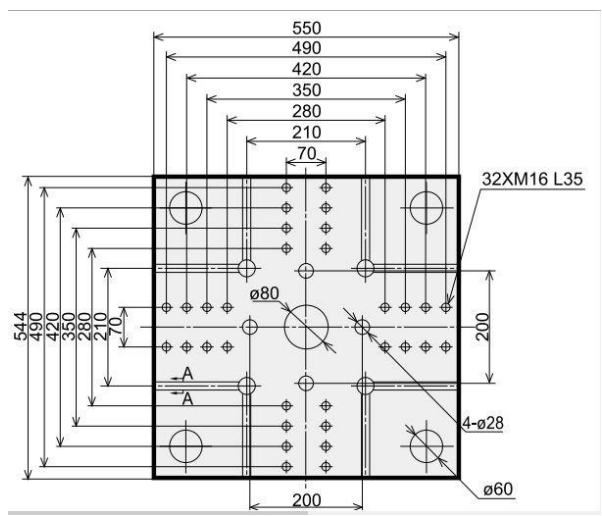
Percobaan	Replikasi-4 (mm)				Replikasi-5 (mm)				Replikasi-6 (mm)			
Ke-	L1	L2	L3	L4	L1	L2	L3	L4	L1	L2	L3	L4
1	59.31	59.19	59.19	59.3	59.33	59.21	59.21	59.31	59.32	59.21	59.2	59.31
2	59.3	59.24	59.23	59.3	59.31	59.17	59.21	59.31	59.28	59.23	59.21	59.33
3	59.32	59.22	59.22	59.3	59.33	59.2	59.2	59.34	59.33	59.21	59.22	59.3

Lampiran 5. Uji Konfirmasi Material Biokomposit serat sisal Tegak Lurus Aliran

Percobaan	Replikasi-1 (mm)				Replikasi-2 (mm)				Replikasi-3 (mm)			
Ke-	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4
1	59.26	59.07	59.07	59.26	59.26	59.05	59.04	59.23	59.23	59.06	59.08	59.22
2	59.24	59.07	59.11	59.22	59.21	59.16	59.14	59.24	59.17	59.11	59.14	59.24
3	59.25	59.13	59.13	59.21	59.25	59.09	59.05	59.21	59.24	59.07	59.06	59.18

Percobaan	Replikasi-4 (mm)				Replikasi-5 (mm)				Replikasi-6 (mm)			
Ke-	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4
1	59.25	59.05	59.04	59.22	59.22	59.06	59.08	59.22	59.25	59.06	59.05	59.24
2	59.25	59.06	59.03	59.24	59.18	59.07	59.02	59.15	59.21	59.02	59	59.23
3	59.25	59.07	59.08	59.22	59.25	59.05	59.04	59.21	59.24	59.08	59.05	59.2

Lampiran 6 Spesifikasi Mesin HAITIAN MA 900/260e



Ukuran Plate pada Mesin Injeksi Merk Haitian Tipe
MA900II/260E

Tabel Spesifikasi Mesin Injeksi Merk Haitian Tipe
MA900II/260E

MA 900 II / 260e				
<i>INJECTION UNIT</i>		A	B	C
<i>Screw diameter</i>	mm	32	36	40
<i>Screw L/D ratio</i>	L/D	22,5	20	18
<i>Shot size (theoretical)</i>	cm ²	121	153	188
<i>Injection weight (PS)</i>	g	110	139	171
<i>Injection rate (PS)</i>	g/s	77	98	121
<i>Injection pressure</i>	Mpa	218	173	140
<i>Plasticizing rate (PS)</i>	g/s	10,1	13,3	16,1
<i>Screw speed</i>	rpm	0-230		
<i>CLAMPING INJECTION</i>				
<i>Clamp tonnage</i>	kN	900		
<i>Toggle stroke</i>	mm	320		
<i>Space between tie bars</i>	mm	360 x 360		
<i>Max. Mold height</i>	mm	380		
<i>Min. Mold height</i>	mm	150		
<i>Ejector stroke</i>	mm	100		
<i>Ejector force</i>	kN	33		
<i>OTHERS</i>				
<i>Max. Pump pressure</i>	MPa	16		
<i>Pump motor power</i>	kW	11		
<i>Heater power</i>	kW	6,3		
<i>Machine dimesion (l x w x h)</i>	m	4,4 x 1,13 x 1,91		
<i>Machine weight</i>	t	3,5		
<i>Hopper capacity</i>	kg	25		
<i>Oil tank capacity</i>	l	190		

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)